

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ,  
ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ В.Ф. Фролов  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 101 «ЕКОЛОГІЯ»,  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»

**Тема: «Метод очистки стічних вод від колоїдних часток»**

Виконавець: студентка групи ЕК 101(Мз) Шарапановська Таїсія Петрівна  
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: доктор тех.наук, доцент Фролов Валерій Федорович  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кажан К.І.  
(П.І.Б.)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Явніук А.А.  
(П.І.Б.)

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

Спеціальність, освітньо-професійна програма: спеціальність 101 «Екологія»,  
ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Фролов В.Ф.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання дипломної роботи**  
**Шарапановської Таїсії Петрівни**

1. Тема роботи «Метод очистки стічних вод від колодних часток»  
затверджена наказом ректора від «06» жовтня 2020 р. №1938/ст.
2. Термін виконання роботи: з 05.10.2020 р. по 20.12.2020 р.
3. Вихідні дані роботи: матеріали щодо проблем водоочищення від колоїдних часток, стан та модернізація системи водоочищення в місті Києві.
4. Зміст пояснювальної записки: опрацювання літературних джерел з тематики дипломної роботи. Опис методів очистки стічних вод від колоїдних часток в місті.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, схеми.

## 6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Аналітичний огляд літературних джерел	05.10.2020–12.10.2020	
2	Складання календарного плану дипломної роботи, пошук та збір інформації, аналіз наукової літератури	12.10.2020–20.10.2020	
3	Опрацювання інформації (групування, зведення у таблиці, побудова схем)	21.10.2020–31.10.2020	
4	Огляд проблеми забруднення стічними водами	1.11.2020–10.11.2020	
5	Характеристика колоїдних часток	11.11.2020–16.11.2020	
6	Опрацювання та характеристика методу коагуляції	17.11.2020–23.11.2020	
7	Огляд дієвих методів очистки стічних вод	24.11.2020–29.11.2020	
8	На основі проаналізованої інформації написати загальні висновки	30.11.2020	
9	Передзахист дипломної роботи	01.12.2020	
10	Підготовка до захисту: доповідь, презентація, ілюстративний (роздатковий) матеріал	18.12.2020	
11	Захист дипломної роботи	23.12.2020	

## 7. Консультація з окремого(мих) розділу(ів):

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Доцент кафедри БЖД, Кажан К.І.		

## 8. Дата видачі завдання: « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту):

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Фролов В.Ф.  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання:

\_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Шарапановська Т.П.  
(П.І.Б.)

## **РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Метод очистки стічних вод від колоїдних часток»: 93 с., 13 рис., 3 табл. , 46 літературне джерело.

Об'єкт дослідження: процеси впливу техногенної діяльності на стан стічних та поверхневих вод.

Мета роботи: охарактеризувати особливості фізико-хімічних методів очищення стічних вод та охарактеризувати один із методів очистки стічних вод від колоїдних часток.

Методи дослідження: оброблення, компонування даних та аналіз існуючих методів очистки, їх порівняння та ефективність використання.

ВОДООЧИЩЕННЯ, СТІЧНІ ВОДИ, КОЛОЇДНІ ЧАСТКИ, КОАГУЛЯЦІЯ, ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЯ, ЕКОФЛОК.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИМИ ВОДАМИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА .....	11
1.1. Проблеми забруднення водного середовища .....	11
1.1.1. Поняття «стічна вода» .....	12
1.2. Джерела забруднення стічних вод.....	13
1.2.1. Господарсько-побутові стічні води.....	15
1.2.2. Поверхневий стік з територій підприємств.....	15
1.2.3. Основні забруднювачі водних об'єктів (за сферами діяльності).....	17
1.3. Сучасні методи очистки стічних вод .....	18
1.3.1. Нейтралізація стічних вод.....	21
1.3.2. Озонування .....	22
1.3.3. Відновлювальний метод .....	23
1.4. Сучасна ситуація забрудненості стічними водами в м. Києві.....	23
1.4.1. Сучасний стан каналізаційної мережі міста .....	24
1.5. Висновки до розділу.....	29
РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ КОАГУЛЯЦІЇ У ПРОЦЕСІ ЧИСТКИ ВОДИ.....	30
2.1. Дисперсні системи та їх характеристика .....	30
2.2. Класифікація дисперсних систем .....	30
2.2.1. Класифікація за взаємодією .....	31
2.2.2. Класифікація за розміром частинок .....	31
2.2.3. Класифікація за агрегатним станом .....	33
2.3. Золі, аерозолі, гелі, порошки.....	34
2.3.1. Види дисперсних фаз .....	36

2.4. Будова колоїдних частинок .....	37
2.5. Стійкість дисперсних систем .....	38
2.6. Коагуляція як метод очистки води .....	40
2.6.1. Умови для ефективного очищення води.....	42
2.7. Освітлення і коагуляція води .....	43
2.7.1. Методи вдосконалення процесу очистки води .....	46
2.8. Висновки до розділу.....	50
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ВІД КОЛОЇДНИХ ЧАСТОК: ОСНОВНІ ПІДХОДИ ТА ПРИЛАДИ .....	52
3.1. Основні підходи та прилади для очищення стічних вод від колоїдних часток.....	52
3.2. Підвищення ефективності очищення вод від завислих речовин за рахунок використання сучасних технологій .....	55
3.3. Особливості фізико-хімічної очистки стічних вод від колоїдних часток .....	58
3.4. Очистка промислових стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлотокоагуляції.....	63
3.4.1. Електрофлотокоагуляція .....	65
3.4.2. Обробка стічних вод електрофлотацією .....	66
3.5. Методи очищення стічних вод від колоїдних часток в м. Києві.....	68
3.6. Висновки до розділу.....	73
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	75
4.1. Гігієна праці та виробнича санітарія на хімічному підприємстві .....	75
4.2. Безпека праці в хімічних лабораторіях .....	79
4.3. Безпечне поводження з хімічними речовинами та рекомендації щодо їх зберігання .....	80
4.4. Пожежна профілактика.....	81
4.5. Висновки до розділу.....	83
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

СПАР – Синтетичні поверхнево-активні речовини;

БСК – біологічне споживання кисню;

ХСК – хімічне споживання кисню;

ПрАТ АК «Київводоканал» – приватне акціонерне товариство «Київводоканал»;

ЄС – Європейський союз;

NEFCO – Північна екологічна фінансова корпорація;

ДержСанПіН – Державні санітарні правила і норми;

ДЛФО – Фізична теорія стійкості ліофобних колоїдів (теорія ДЛФО);

ПАА – Поліакриламід;

ПАР – Поверхнево-активні речовини;

НПІ ТОВ «ЕКОФЛОК» – компанія, що проектує, виготовляє і вводить в експлуатацію нові та реконструює існуючі очисні споруди;

«Actiflo» – забезпечує площу поверхні яка покращує утворення пластівців, а так само діє як баласт або вага для збільшення швидкості осадження часток;

ПЛАС – План ліквідації аварійних ситуацій.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Головною передумовою кризи в країні, спричиненої забрудненням поверхневих вод, є нераціональне використання водних ресурсів з порушенням екологічних вимог. Комплекс розглянутих факторів є причиною виснаження і забруднення поверхневих вод України, зниження їх самоочисної спроможності, деградації, збідніння та розпаду водних екосистем. В результаті посилення урбанізації, розвитку промисловості та комунальних послуг кількість міських стічних вод, які потребують очищення, постійно збільшується.

В даний час спостерігається тенденція до погіршення якості поверхневих водних ресурсів у місті внаслідок антропогенного та природного забруднення.

Очевидною є необхідність впровадження заходів, які повинні адаптувати екологічний стан поверхневих вод до зростаючого техногенного впливу людської діяльності. До цих заходів слід віднести: вдосконалення технологічних процесів з метою скорочення обсягів скидів забруднюючих речовин та підвищення ефективності очищення стічних вод через розробку нових та удосконалення існуючих технологій водоочищення.

Незважаючи на проведення великої кількості досліджень процесу коагуляції, багато питань до цих пір залишаються нез'ясованими: чи не існує теоретичного обґрунтування підбору коагулянтів, відсутня єдина думка про механізми процесів, що протікають при гідролізі коагулянтів, і властивості утворюваних при цьому агрегатів, не визначені основні причини зменшення ефективності дії коагулянтів з зниженням температури. Над даною темою працювали такі дослідники, як В. С. Джигирей, А. К. Запольський, В. Ф. Кожинов, А. П. Пашков та ін..

### ***Мета і завдання виконання дипломної роботи.***

Мета роботи – охарактеризувати особливості фізико-хімічних методів очищення стічних вод.

Виходячи з поставленої мети передбачається вирішити наступні завдання:



1. Визначити джерела забруднення стічних вод та сучасні методи очистки стічних вод.
2. Описати сучасний стан забрудненості в м. Києві.
3. Охарактеризувати дисперсні системи, коагуляцію та її класифікаційні особливості.
4. Розглянути основні підходи та прилади для очищення стічних вод та охарактеризувати особливості фізико-хімічної очистки стічних вод.
5. Проаналізувати методи очищення стічних вод від колоїдних часток в м. Києві.

**Об'єкт дослідження** – процеси впливу техногенної діяльності на стан стічних та поверхневих вод.

**Предмет дослідження** – процеси очищення стічних вод від колоїдних часток.

**Методи дослідження** – порівняльно-аналітичний, аналіз, синтез, систематизація.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Була подана коротка анотація до нещодавно запропонованих методів із зазначенням різниці між отриманими результатами та раніше відомими та охарактеризована ступінь новизни. До цього пункту не можна включати опис нових прикладних (практичних) результатів, отриманих у вигляді способів, пристроїв, методик, схем, алгоритмів тощо. Слід розмежовувати отримані наукові положення і нові прикладні результати, що випливають з теоретичного доробку.

**Практичне значення отриманих результатів.** У роботі, що має теоретичне значення, інформація про наукове використання результатів досліджень або рекомендації щодо їх застосування, а у відповідній практичній роботі – інформація про практичне застосування результатів або рекомендації щодо їх використання.

**Особистий внесок випускника:** Було проведено аналіз науково-технічної літератури, розглянуто основні підходи та прилади для очищення стічних вод та охарактеризовані особливості фізико-хімічної очистки стічних вод.

***Публікації:***

1. Шарапановська Т.П. Трансформація ландшафтів під впливом гідроакумуючих електростанцій. *Екологічна безпека держави*: матеріали XII Всеукраїн. наук.-практ. конф., молодих учених і студентів, присвяч. пам'яті профес. Я.І.Мовчана (Київ, 19 квіт. 2018р.) Київ: НАУ, 2018. С. 218-219.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИМИ ВОДАМИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА

#### 1.1. Проблеми забруднення водного середовища

Збереження та захист водних ресурсів від виснаження – одна з найважливіших проблем людства, яка дуже ускладнюється урбанізацією людського суспільства, інтенсивним розвитком промисловості, використанням різних хімічних речовин у повсякденному житті та на виробництві, що призводить до значного забруднення води.

Водно-ресурсний потенціал України є основою соціального, екологічного та економічного добробуту. В даний час управління водними ресурсами та гідроекологічні проблеми набули загальнодержавного характеру і стали одним з головних факторів національної безпеки. Тому в період поглиблення водно-екологічних проблем та обмежених фінансових ресурсів підприємств, для водоохоронних заходів оцінка їх ефективності займає важливе місце у виборі найбільш оптимальної технології очищення стічних вод.

Зростання економічного розвитку вимагає значних водних ресурсів. Подальший розвиток промисловості, сільського господарства, енергетики та добробуту населення вимагає великої кількості води, яка відповідає б сучасним вимогам державних стандартів та технічних умов використання.

Проблема забезпечення належного екологічного стану водних ресурсів залишається важливою для всіх регіонів України. Майже всі поверхні та значна частина ресурсів підземних вод, особливо в районах з потужними промисловими та сільськогосподарськими комплексами, зазнають антропогенного впливу, що проявляється забрудненням, збідненням та деградацією цих об'єктів.

Значні обсяги споживання води в економічній діяльності, зростання скидів забруднених вод у поверхневі водойми - основні чинники антропогенного навантаження на поверхневі водні ресурси [1, 2].

#### 1.1.1. Поняття «стічна вода»

Згідно з Водним кодексом України, стічна вода — вода, що утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтної, кар'єрної і дренажної води), а також відведена з забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів [3].

В залежності від походження та складу забруднювальних речовин (домішок) стічні води поділяються на чотири основні категорії: господарсько-побутові, промислові (виробничі), сільськогосподарські та дощові стічні води, що стікають з території виробничих об'єктів та населених пунктів у результаті випадання атмосферних опадів чи поливання вулиць.

За походженням виділяють наступні види стічних вод:

1. *Господарсько-побутові стічні води* — утворюються в житлових приміщеннях, а також в побутових приміщеннях на виробництві (наприклад, душові кабінки, туалети), відводяться через систему господарсько-побутової каналізації або по загальносплавній. В основному вони забруднені миючими засобами та фекаліями. Більшість зважених твердих речовин мають целюлозну природу, а до інших органічних забруднень належать жирні кислоти, вуглеводи та білки. Неприємний запах побутових стічних вод викликаний розкладанням білків в анаеробних умовах.

Склад побутових стічних вод відносно постійний і в основному характеризується органічними забруднювачами (близько 60%) в нерозчиненому, колоїдному та розчиненому стані, а також різними бактеріями і мікроорганізмами, у тому числі й патогенними [2].

2. *Промислові стічні води* – вони виникають в результаті використання води в технологічних процесах на промислових підприємствах або видобутку корисних копалин, вони скидаються через промислову систему або систему сплавних стічних вод. Найхарактернішими та найнебезпечнішими забруднювачами промислових стічних вод є речовини з гірничодобувної промисловості (переважно нафтопродукти), феноли, синтетичні ПАР, важкі метали, органічні речовини з тривалим часом розкладання, включаючи різні пестициди. Є забруднені та відносно чисті промислові стічні води. Прикладом умовно чистої стічної води є вода, яка використовується для охолодження в теплообмінниках.
3. *Сільськогосподарські стічні води* – поділяється на стічні води з тваринницьких комплексів та поверхневі стічні води з полів. Перший тип стічних вод містить велику кількість органічних забруднювачів, другий - агрохімікати, що використовуються як добрива та засоби захисту рослин від шкідників.
4. *Дощові стічні води* – вони спричинені дощем, таненням (сніг, град) та зрошувальною водою. Скиди здебільшого проходять через зливову каналізацію. Забруднені зазвичай нерозчинними органічними та мінеральними речовинами, нафтопродуктами, поживними речовинами та важкими металами.
5. *Шахтні і рудничні стічні води* – вони утворюються в процесі видобутку та переробки корисних копалин, отже, вони часто характеризуються високою мінералізацією, кислим середовищем, великою кількістю гірничих елементів у розчиненому та зваженому вигляді.
6. *Стічні води збагачувальних фабрик* – флотаційні відходи, зливи згущувачів, фільтрати вакуум-фільтрів.
7. *Стічні води підприємств нафтової і газової промисловості.*

## **1.2. Джерела забруднення стічних вод**

Основними джерелами забруднення виступають стічні води, кислотні дощі,

тверді побутові відходи, витік нафти, відходи теплових і атомних електростанцій і забруднення інших походжень, які важко визначити, це можуть бути несанкціоновані шкідливі викиди заводів [10].

Виробничі стічні води утворюються в результаті використання води в різних технологічних процесах. Їх кількість, склад і концентрації забруднюючих речовин визначаються наступними факторами: видом промислового виробництва і характером технологічного процесу, складом вихідної сировини і продукції, що випускається, складом вихідної свіжої води, режимами технологічних процесів.

Концентрації забруднюючих речовин у стічних водах різних підприємств неоднакові, коливаються в широких межах в часі в окремих цехах або на підприємстві в цілому. Нерівномірність припливу стічних вод і їх концентрації погіршує роботу очисних споруд та ускладнює їх експлуатацію.

Залежно від ступеня забруднення виробничі стічні води можна розділити на три основні категорії [9]:

- умовно-чисті, які не призводять до змін фізико-хімічного складу води водоймища і не вимагають очищення. Ці води звичайно надходять від теплообмінних апаратів, а також утворюються при охолодженні обладнання та продуктів виробництва;
- нормативно очищені – води, що пройшли очищення від забруднюючих речовин, скидання яких не призводить до зміни якості води у водоймі;
- забруднені – води, що скидаються без очищення або недостатньо очищені, з концентраціями забруднюючих речовин.

Забруднені стічні води зазвичай поділяють на три групи: забруднені переважно органічними забруднювачами, забруднені переважно мінеральними забруднювачами та забруднені сумішшю цих забруднювачів. У більшості компаній забруднення мінеральних та органічних стічних вод відбувається в різних пропорціях. [9].

Промислові стічні води є найбільш небезпечними для водних об'єктів. Їх очищення набагато складніше, ніж комунальної каналізації, яка вимагає

складних і дорогих очисних споруд. Різноманітність складу та природи промислових забруднювачів стічних вод спонукає до використання різних методів їх очищення, як фізико-хімічних, так і хіміко-біологічних. Промислові стічні води приймаються до комунальної каналізації з обмеженнями.

#### 1.2.1. Господарсько-побутові стічні води

Побутові стічні води утворюються під час приймання ванни, душу, у пральні та їдальні. Ці води включають фекалії, забруднені переважно фізіологічними секретами людини, та побутові відходи з миючими засоби.

Характерною особливістю питної води є відносна стабільність її складу та високий ступінь забруднення. Більшість забруднювачів – це органічні речовини рослинного та тваринного походження. Побутові стічні води завжди містять велику кількість мікроорганізмів, які є продуктами життєдіяльності людини, а тому можуть бути патогенними. Це найнебезпечніша частина епідеміологічного забруднення [10].

Зазвичай для очищення побутових стічних вод використовують біологічні методи. Компанії не несуть відповідальності за якість цієї води та направляють її на комунальні очисні споруди. Забруднення побутових та промислових стічних вод впливає на вибір технологічної схеми очищення води та екологічну ситуацію в певній місцевості.

#### 1.2.2. Поверхневий стік з територій підприємств

Атмосферні (зливові) стічні води (поверхневий стік з приміщень підприємств) утворюються в результаті вимивання забруднюючих речовин, що накопичуються на території підприємств. Характерною особливістю стоку дощової води є епізодичний характер та значний нерівномірний потік і концентрація забруднюючих речовин. Поверхневий стік в основному містить

мінеральні забруднення – тверді (зважені) частинки, а також нафтопродукти. Дощова вода промислових заводів може містити специфічні забруднювачі, які є особливими для конкретного виробництва [10].

Багато факторів впливають на забруднення поверхневим стоком: рівень топографії, щільність населення, інтенсивність руху. Ці води скидаються у зовнішню (дощову) мережу міста. Підприємства ведуть облік кількості цього виду стічних вод. Поверхневий стік з промислових ділянок, як правило, складніший, і концентрація забруднюючих речовин вища, ніж у муніципальних стоках.

У літературі часто використовується термін "комунальна каналізація". Міські стічні води – це суміш усіх трьох типів води із загальною каналізацією або побутових та промислових стічних вод з окремою системою. Загалом на промислові стоки припадає 40% загального водовідведення комунальних каналізаційних мереж [7].

З хімічної точки зору, забруднення міських стічних вод поділяється на мінеральне (пісок, глина, розчинені мінеральні солі, кислоти та основи) та органічне, яке може бути рослинного та тваринного походження. Міські стічні води мають надзвичайно високе мікробіологічне забруднення. Для вирішення проблеми скидання комунальних стічних вод у водосховище не потрібно вивчати її склад, оскільки він є відносно постійним і різниці можуть стосуватися лише концентрації, яка залежить від інтенсивності стоку.

У комунальних очисних спорудах вода постійно направляється через механічні та біологічні очисні споруди та дезінфікується. Для забезпечення нормальної роботи цих об'єктів встановлюється ряд вимог до комунальних стічних вод, реалізація яких забезпечується постійним контролем якості стічних вод промислових підприємств, підключених до комунальної каналізаційної мережі. Умови виробництва стічних вод у різних компаніях можуть суттєво відрізнятися. Каналізація промислових підприємств зазвичай здійснюється за абсолютно окремою системою [8].



### 1.2.3. Основні забруднювачі водних об'єктів (за сферами діяльності)

Дощова вода, що стікає із незабруднених районів підприємств, скидається через окрему каналізаційну систему або поєднується з незабрудненими промисловими стічними водами і скидається у водосховище без очищення.

Забруднена дощова вода скидається разом із забрудненими промисловими стічними водами та піддається спільній очистці перед скиданням у водойми [11].

За результатами узагальнення звітів про використання води за 2018 рік у галузевому розрізі найбільшими забруднювачами є підприємства житлово-комунальної галузі, якими скинуто 585,3 млн м<sup>3</sup> забруднених стічних вод.

Із загального обсягу скинутих у водні об'єкти стічних вод забруднені складають 952 млн м<sup>3</sup> (18,27%), нормативно-очищені – 1058 млн м<sup>3</sup> (20,31 %), нормативно чисті без очистки – 3048 млн м<sup>3</sup> (58,51%) та шахто-кар'єрні води, що не мають категорії – 151,7 млн м<sup>3</sup> (2,91%) [3].

Підприємствами промисловості скинуто 301,4 млн. куб. м забруднених стічних вод, із них найбільші забруднювачі-підприємства чорної металургії (271,5 млн м<sup>3</sup>) та хімічної промисловості (12,17 млн. куб. м), та підприємствами сільського господарства скинуто 15,37 млн м<sup>3</sup> забруднених стічних вод (рис.1.1).

Всього підприємств, що забруднюють водні об'єкти – 539.

Разом із стічними водами до поверхневих водних об'єктів у 2018 році скинуто 22,20 тис. тон завислих речовин, 239,3 т нафтопродуктів, 6,06 тис. тон азоту амонійного, 46,59 тис. тон нітратів, 1,68 тис. тон нітритів, 175,5 т СПАР, 421,4 т заліза, 4688,0 т фосфатів тощо. Крім того, сумарний показник ХСК дорівнював 68,88 тис. тон та БСК – 17,86 тис. тон.



Рис. 1.1. Використання поверхневих вод за галузями економіки, тис. м³

Питання водозабезпечення населення і галузей економіки вирішується Держводагентством шляхом регулювання і перерозподілу річкового стоку протягом року і навіть низки років.

Отже, на підприємствах, де виробничі стічні води за своїм складом близькі до побутових, відведення стічних вод можна здійснювати за двома мережами: виробничо-побутової та дощової.

### 1.3. Сучасні методи очистки стічних вод

Для очищення побутових і виробничих стічних вод використовують різноманітні методи. Метод очищення і склад очисних споруд вибирають залежно від необхідного ступеня очищення, складу забруднень, пропускної здатності очисної станції, ґрунтових умов і потужності водного об'єкта з

відповідним техніко-економічним обґрунтуванням (рис.1.2.).

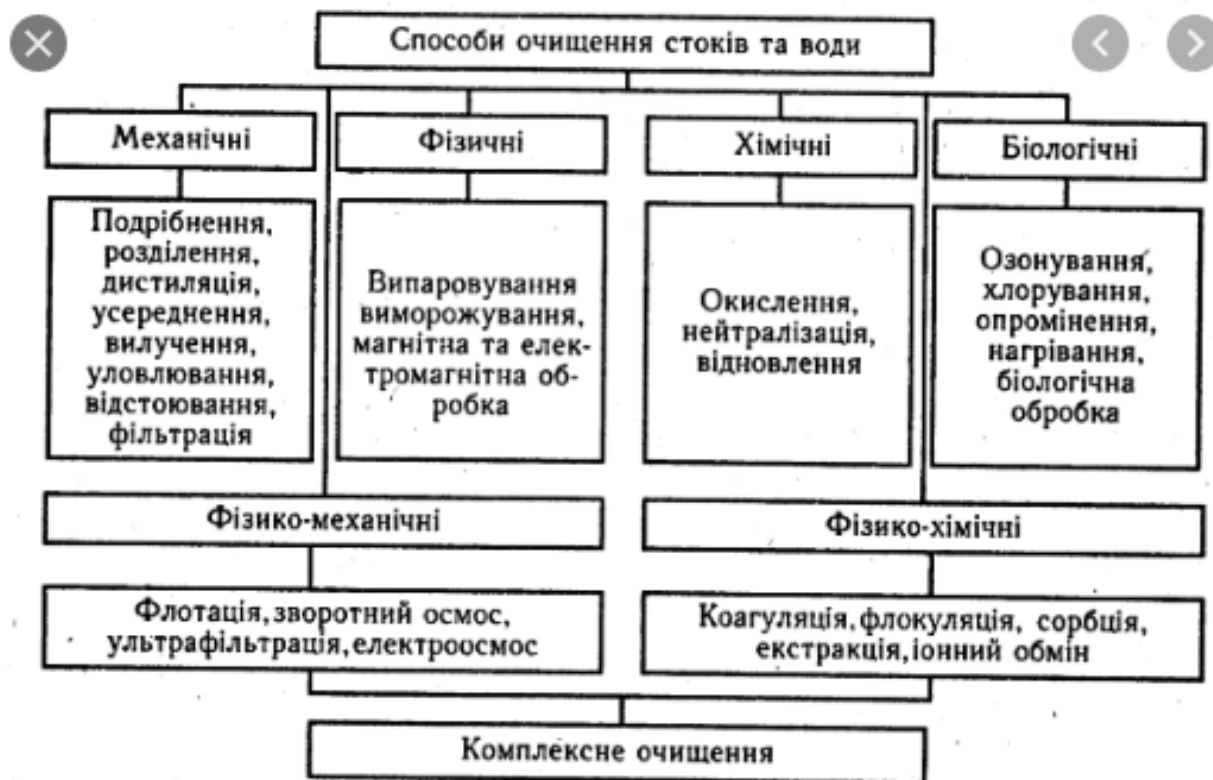


Рис. 1.2. Метод очищення стічних вод

Механічну очистку здійснюють способами проціджування, відстоювання, центрифугування, фільтрування [12, с. 43].

Надходження у водойм зі стічними водами біогенних речовин викликає в ньому порушення природної рівноваги, зокрема, їх евтрофізація.

Евтрофікація (заболочування) – це збагачення річок та озер поживними речовинами, з підвищеною продуктивністю рослинності у водоймах. Евтрофікація може бути результатом як природного старіння водойми, так і антропогенних впливів. Основними хімічними елементами, що сприяють евтрофікації, є фосфор та азот. Штучно незбалансована евтрофікація може призвести до швидкого росту водоростей, нестачі кисню та загибелі риб та тварин. Цей процес можна пояснити малим проникненням сонячних променів вглиб водойми (за рахунок фітопланктону на його поверхні) і, як наслідок, відсутністю фотосинтезу рослин, а від цього і кисню [13].

Стічна рідина, яка надходить на очисні споруди каналізації, містить розчинні і нерозчинні речовини органічного і мінерального походження. Нерозчинні частинки органічного і мінерального походження затримуються в пісковловлювачах і первинних відстійниках. У первинних відстійниках також відбувається зниження азоту органічного, залишок якого в подальшому амонізується в аеротенках [1, с. 43].

Очисні споруди гальванічних виробництв можна розподілити:

- з гідравлічних умов роботи: проточні, непротічні і комбіновані;
- по режиму роботи: безперервно працюють і періодично що працюють;
- за ступенем поділу категорії стічних вод: з повним поділом потоків (з вмістом хрому, кислотно-лужні, що містять комплексні сполуки та ін.), з частковим поділом потоків (загальний стік і ціанозмістові стоки), без поділу потоків (при відсутності стоків);

В процесі очищення стічних вод утворюються великі маси опадів, які піддаються знешкодженню, знезараженню, зневодненню, сушінні і готуються до подальшого застосування.

Хімічна очистка також використовується як метод глибокої очистки стічних вод, так і для дезінфекції, знебарвлення або видалення різних компонентів. У більшості випадків хімічні методи є кращими для місцевого очищення промислових стічних вод.

Хімічна очистка застосовується у випадках, коли видалення забруднюючих речовин можливе лише в результаті хімічної реакції між забруднювачем та реагентом. Основні методи хімічної обробки включають нейтралізацію, окислення, відновлення, реагентні методи видалення забруднюючих речовин у вигляді нерозчинних та нерозчинних сполук [4].

До окислювальних методів відноситься також електрохімічна обробка. Нейтралізація застосовується для обробки виробничих стічних вод, що містять кислоти і луг. У більшості кислих стічних вод містяться солі важких металів, які

необхідно виділяти з цих вод.

Нейтралізацію здійснюють в наступних цілях [2]:

- для запобігання корозії матеріалів каналізаційних мереж і очисних споруд;
- щоб уникнути порушення біохімічних процесів в біологічних окислювачах і в водоймах;
- для осадження з стічних вод солей важких металів.

З умов скидання виробничих стічних вод у водойми або в міську каналізацію велику небезпеку становлять кислі стоки, які до того ж зустрічаються значно частіше, ніж лужні. Найчастіше стічні води забруднені мінеральними кислотами: сірчаної, соляної, азотної, а також їх сумішами. Зазвичай концентрація кислот в стічних водах не перевищує 3%, але зустрічаються і більш концентровані суміші.

#### 1.3.1. Нейтралізація стічних вод

Існує три способи нейтралізації [3]:

1. Взаємна нейтралізація кислих і лужних стічних вод. Даний метод широко використовують на підприємствах хімічної промисловості.
2. Нейтралізація реагентами (використовується гашене  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і негашене  $\text{CaO}$  вапно, кальцинована  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і каустична  $\text{NaOH}$  сода) [13]. Процеси реагентної нейтралізації виробничих стічних вод здійснюються на нейтралізаційних установках або станціях. Час контакту стічних вод і реагента повинно бути не менше 5 хв. Для кислих стічних вод, що містять іони важких металів, цей час має бути не менше 30 хв [13]. Нейтралізація кислих стічних вод шляхом фільтрування через нейтралізуючі матеріали (вапно, вапняк, крейда, магнезит, доломіт).
3. Нейтралізація димовими газами. Використання газів для нейтралізації лужних стічних вод та вмісту вуглекислого газу, сірки та азоту, а також інших кислих газів дозволяє не тільки нейтралізувати стічні води, але

й дуже ефективно очищати самі гази від шкідливих компонентів. Нейтралізація проводиться в абсорбційній апаратурі, розрахунок якої заснований на закономірностях хемосорбції. Процес нейтралізації може бути проведений в реакторах з мішалкою, в розпилювальних, плівкових і тарілчастих колонах [13].

Вибір способу нейтралізації залежить від багатьох факторів [14]:

- виду і концентрації кислот, що забруднюють виробничі стічні води;
- витрати і режими надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію;
- наявності реагентів, місцевих умов і т.п.

Окислювальний метод застосовується при водопідготовці і для знешкодження виробничих стічних вод, що містять токсичні домішки (ціаніди, феноли), а також для вилучення зі стічних вод речовин, які не можна або недоцільно вилучати іншими методами.

Метод застосовується в наступних галузях промисловості [25, с. 32]:

- машинобудівній (в цехах гальванічних покриттів);
- гірничодобувній (на збагачувальних фабриках);
- нафтохімічній (на нафтопереробних і нафтохімічних заводах);
- целюлозно-паперовій.

Реагенти (окислювачі) – це хлор та його похідні (хлорне вапно, гіпохлорит кальцію та натрію, діоксид хлору), озон, технічний кисень та кисень. Хлорування – найпоширеніший метод дезінфекції. Хлорування застосовується для видалення фенолів, ціанідів, сірководню та інших сполук зі стічних вод, а також для боротьби з біологічним забрудненням очисних будівель.

### 1.3.2. Озонування

Озонування застосовується для очищення стічних вод від фенолів,

нафтопродуктів, сірководню, ПАР, ціанідів, барвників, канцерогенних ароматичних вуглеводнів, пестицидів та інших. Для окислення цих речовин суміш вводиться у воду, де відбувається дисоціація озону. Озонування – дорогий метод [15].

### 1.3.3. Відновлювальний метод

Відновлювальний метод застосовують для очищення стічних вод від сполук металів (ртуті, хрому, миш'яку, міді), нітритів, нітратів, сульфатів і ін. Для кожної речовини використовується свій метод відновлення і відповідні реагенти – відновники. В даний час є велика різноманітність методів відновлення [23].

Отже, ми розглянули основні методи очищення стічних вод, до яких відноситься біологічний метод, механічний та фізико-хімічний. Очищення стічних вод вимагає застосування спеціальних очисних споруд і агрегатів, за допомогою яких виділяють, знезаражують або знешкоджують забруднюючі домішки. Побутові стічні води можуть очищатися за допомогою механічних і біологічних способів. Перед скиданням очищених стічних вод у водойми їх мають знезаражувати.

## 1.4. Сучасна ситуація забрудненості стічними водами в м. Києві

В даний час тільки деякі підприємства мають власний комплекс очисних споруд для обробки стічних вод різного ступеня забрудненості [1]. Як правило, стічні води скидаються в каналізаційну мережу населеного пункту, що передбачає значні фінансові витрати, а також дотримання нормативних вимог. Так, в Києві дозволяється скидати стічні води при ГПК 500 мг О/дм<sup>3</sup>. Наприклад, для стічної води молокопереробних підприємств цей показник вище в кілька разів [12].

#### 1.4.1. Сучасний стан каналізаційної мережі міста

У Києві два види каналізації. Перша – самопливна, коли по рельєфу місцевості через прокладені сливи стічні води стікають в головний колектор, а звідти, по шести каналах під Дніпром, йдуть на Бортницьку станцію аерації для очищення. Друга – напірна. Її ланцюжок наступна: всі «непотрібне» злите потрапляє в каналізаційні стоки-колектори, якими пронизане київське підземелля, звідти самопливом все прибуває на міські каналізаційно-насосні станції, де відходи очищаються від найбільш крупного сміття та під напором рухаються по трубах в головний каналізаційний колектор і далі на Бортницьку станцію аерації.

Причому, на неї подаються не тільки стічні води Києва, а й розташованих на правому березі містечко-супутників столиці, а ще – кількох лівобережних передмість. Таким чином, київська каналізація є агломераційної. І, до речі, ось ці самі міста-супутники не беруть участі в капітальному ремонті каналізації міста, хоча користуються її щосили.

Каналізаційні мережі Києва – «артефакт», дата їх будівництва – до 1917 року. У «Київводоканалі» стверджують, що всі вони вимагають негайної перекладки і заміни, на їх експлуатацію і постійне усунення аварійних ситуацій йде чимало матеріальних засобів, необхідно також залучення людських ресурсів, яких не вистачає. Планова заміна зношених мереж і колекторів майже не відбувається, адже в бюджеті передбачені кошти тільки на ліквідацію аварійних пошкоджень [22].

В аварійному стані перебувають і колектори, побудовані в 1950-1980 роках із залізобетонних конструкцій без захисного покриття. Через вплив стічної рідини і продуктів її розкладання, незахищений залізобетон піддається руйнації через корозію, яка прогресує і провокує аварії.



Перекачування стічних вод в Києві забезпечують 34 каналізаційні насосні станції. Їх стан теж далеко від ідеального (рис.1.3.). «Київводоканал» постійно проводить їх модернізацію. За 2016-2017 роки реконструював відразу п'ять станцій – «Конча-Заспа-4», «Ново-Святошинська», «Ново-Подільська», «Метрологічна» і «Оболонь». Роботи обійшлися в майже 90 мільйонів гривень. Це – кошти, отримані за рахунок інвестиційної складової, яка передбачена в тарифі на послуги водопостачання та водовідведення, щорічно утверджується Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг. Іншими словами, ремонт насосних станцій проводиться за рахунок киян. У наступному році, за планом «Київводоканалу», модернізують ще три насосні станції і обійдеться це в 28 мільйонів гривень [4].



Рис.1.3. Насосна станція, збудована в 1908 році.

Щорічно на каналізаційних мережах Києва трапляються більше 100 аварій, з них 10, як правило, масштабні. Протягом року в місті ліквідують більше 11 000 засмічень колекторів, а це, в середньому, близько 30 в день. Причина – багато підприємств не дотримуються «Правил приймання стічних вод», а громадяни – елементарних правил користування каналізацією.

На початку серпня 2019 р. Державне агентство водних ресурсів України розмістило у себе на сайті інформацію про «ТОП-100» найбільших підприємств-забруднювачів за 2018 рік (рис.1.4.). Цей перелік, згідно Держагенства, був сформований на підставі даних державного обліку водокористування за результатами звітності про використання води у 2018 році, представленої суб'єктами господарювання.

№ п/п	Назва підприємства	Обсяг забрудн. стічних вод	у тому числі:	
			забрудн. без очистки (БО)	забрудн. недост. очищених (НДО)
1	ПРАТ "АК "КИЇВВОДОКАНАЛ"	283,3	18,4	264,9
2	ПРАТ "МЕТКОМБІНАТ "АЗОВСТАЛЬ", М.МАРІУПОЛЬ	139,8	-	139,8
3	ПАТ "ДНІПРОВСЬКИЙ МЕТКОМБІНАТ", М. КАМ'ЯНСЬКЕ	64,57	3,917	60,65
4	ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ" М. ЗАПОРІЖЖЯ	53,87	-	53,87
5	КП "ДНІПРОВИДОВОКАНАЛ" ДМР	53,02	6,369	46,65
6	ТОВ ВКФ "НАЙС" М. ДНІПРО	45,66	45,66	-
7	ЛМКП "ЛЬВІВВОДОКАНАЛ"	33,04	-	33,04
8	МКП "МИКОЛАЇВВОДОКАНАЛ"	19,39	-	19,39
9	ФІЛІЯ ПРУВОКС ПАТ "ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ", М. ПАВЛОГРАД	15,89	2,77	13,12
10	КП "ЧЕРНІГІВВОДОКАНАЛ" М. ЧЕРНІГІВ	14,9	-	14,9

Рис. 1.4. «ТОП-100» найбільших підприємств-забруднювачів за 2018 р.

Так, обсяг стічних вод, скинутих 100 підприємствами, в 2018 р склали 918 млн. м<sup>3</sup>, а в 2017-809 млн м<sup>3</sup>. При тому фактично 80% від загальної кількості що скидаються в природні водойми стічних вод припадає на частку перших десяти компаній зі списку головних забруднювачів. Більш того, останні три роки в десятку головних забруднювачів водних ресурсів України входять практично одні і ті ж підприємства, що вже схоже на усталену закономірність. Нижче представлений перелік перших десяти компаній-забруднювачів в 2016-2018 рр. [20]

Майже дві третини підприємств, що увійшли до анти-рейтинг «ТОП-100», розташовані на території 5 областей: Дніпропетровська – 24; Донецька – 19; Львівська – 7, Харківська – 7, Луганська – 6. При цьому 18 підприємств є промисловими (з них 6 – це підприємства чорної металургії), а 74 підприємства відносяться до комунальної галузі, причому очолює анти-рейтинг останні два

роки ПрАТ «АК «Київводоканал».

Ця інформація схвилювала багатьох, в тому числі лідера анти-рейтингу. У повідомленні, опублікованому на сайті ПрАТ «АК «Київводоканал», керівництво підприємства заявляє, що інформація, оприлюднена Державним агентством водних ресурсів України, безпідставно дискредитує підприємство і завдає шкоди його репутації. Як доказ наводяться дані про вміст шкідливих речовин в пробах води, відібраних в зоні розсіює випуску Бортницької станції аерації, в порівнянні з фоновими концентраціями цих забруднювачів у воді р. Дніпро і значеннями «затверджених допустимих концентрацій» [19].

У той же час згідно з інформацією, опублікованою на сайті Асоціації «Укрводоканалекологія», на сьогоднішній день радянський СанПіН 4630-88 скасований, а нові «Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько побутових та інших потреб населення» і ДСанПіН охорони поверхневих водойм не затверджені Міністерством охорони здоров'я.

Аналіз викладеного призводить до сумного висновку про те, що сьогодні в Україні не тільки незадовільно працюють очисні споруди комунальних підприємств, а й відсутня можливість коректної оцінки ступеня забруднень стічних вод, що надходять у відкриті водойми, в тому числі в р. Дніпро, з водного басейну якої здійснюється 77% водозабору комунальними підприємствами країни.

Підсумовуючи вищесказане Всеукраїнське водне суспільство «WaterNet» закликає всі задіяні у вирішенні даного питання організації сісти за стіл переговорів і найближчим часом виробити загальну Водну стратегію з метою збереження водних ресурсів України, в тому числі затвердити актуальні вимоги до скидаються в природні водойми стічних вод і посилити заходи за порушення даних вимог [11].

Так відомо, про плани модернізації очисних споруд КП «МІСЬКВОДОКАНАЛ» в м. Суми за рахунок фінансової допомоги Північної екологічної фінансової корпорації (NEFCO). КП «Луцькводоканал» вийшов на

завершальну стадію залучення інвестицій Європейського банку на модернізацію своїх об'єктів, з яких найбільше коштів буде направлено на очисні споруди в Липлянах.

ПрАТ «АК «Київводоканал» перебуває на стадії проведення міжнародного тендеру з вибору генеральної підрядної організації для виконання будівельних робіт з реконструкції Бортницької станції аерації, що фінансується за рахунок кредиту Японії на 970 мільйонів доларів. Однак, навіть гроші виявляться безсилі без системного підходу до вирішення вищевказаних проблем.

В 2014-му році український уряд, підписавши Асоціацію з ЄС, взяв на себе зобов'язання щодо імплементації. Водна рамкова директива передбачає зміну системи управління водними ресурсами країни. На думку експертів міжнародної організації «Water Initiative», які консультували профільне міністерство, необхідно переходити від вузького «галузевого» менеджменту до інтегрованої системи управління водними ресурсами. Нова модель повинна бути спроектована з урахуванням інтересів всіх споживачів водних ресурсів: водоканалів, які живлять міста, сільгоспвиробників, гідроенергетиків, промисловості, екосистем. Розробка нової системи управління – це процес, при всій його актуальності, вкрай тривалий і пов'язаний з великою громадською дискусією про те, яку воду хочуть пити українці і чи готові вони платити за неї грошима або здоров'ям. Зараз, судячи з показниками рівня забруднення води і гостроти суспільного запиту на зниження тарифів, українці платять і тим, і іншим [5].

Таким чином, однією з перспективних спроб наблизитися до вирішення проблеми є ініціювання громадською організацією «City Up» комунікаційного проекту «ЧАС ВОДИ», який міг би об'єднати провідних експертів галузі для того, щоб переосмислити поточну ситуацію з управлінням водними ресурсами, і знайти рішення для виходу країни з водної кризи.

## 1.5. Висновки до розділу

Таким чином, основними джерелами забруднення виступають стічні води, кислотні дощі, тверді побутові відходи і забруднення інших походжень, які важко визначити, це можуть бути несанкціоновані шкідливі викиди заводів. Залежно від ступеня забруднення, промислові стічні води можна поділити на три основні категорії, одна з яких – умовно чисті, що не призводять до змін фізичного та хімічного складу води у водоймі та не потребують очищення. Ці води зазвичай надходять із теплообмінників, а також виробляються під час охолодження обладнання та продуктів; нормально обробляється – вода, очищена від забруднень, скидання якої не змінює якості води у водоймі; забруднена – вода, що скидається без очищення або недостатньо очищена, з концентрацією забруднюючих речовин.

Забруднені стічні води зазвичай поділяють на три групи: забруднені переважно органічними забруднювачами, забруднені переважно мінеральними забруднювачами та забруднені сумішшю цих забруднювачів. Більшість компаній, що забруднює мінеральними та органічним речовинами стічні води, робить це в різних пропорціях.

Аналіз викладеного призводить до сумного висновку про те, що сьогодні в Україні не тільки незадовільно працюють очисні споруди комунальних підприємств, а й відсутня можливість коректної оцінки ступеня забруднень стічних вод, що надходять у відкриті водойми, в тому числі в р. Дніпро, з водного басейну якої здійснюється 77% водозабору комунальними підприємствами країни. Як правило, стічні води скидаються в каналізаційну мережу населеного пункту, що передбачає значні фінансові витрати, а також дотримання нормативних вимог. Так, в Києві дозволяється скидати стічні води при ГПК 500 мг /дм<sup>3</sup>.

## РОЗДІЛ 2

### ВИКОРИСТАННЯ КОАГУЛЯЦІЇ У ПРОЦЕСІ ЧИСТКИ ВОДИ

#### 2.1. Дисперсні системи та їх характеристика

Дисперсність – це ступінь подрібнення речовини. Ступінь дисперсності – це величина питомої поверхні, яка є відношенням загальної площі поверхні всіх частинок до їх маси. Деякі високодисперсні речовини мають дуже високий ступінь подрібнення. Так, кількість частинок в 1 г аеросилу сягає  $4 \cdot 10^{16}$ , а питома поверхня є більшою 300 м<sup>2</sup>/г.

Дисперсні системи – утворення з двох або більшого числа фаз з сильно розвиненою поверхнею розділу між ними. У дисперсній системі принаймні одна з фаз розподілена у вигляді дрібних частинок в іншій, суцільній, фазі. Дисперсні системи, що складаються з якоїсь речовини в високого ступеня подрібнення (дисперсної фази), рівномірно розподіленої в масі основної речовини (дисперсійному середовищі), часто зустрічаються в природі і широко використовуються в сучасних технологічних процесах. Поняття дисперсності простягається на широку область розмірів тіл – від  $10^9$  до  $10^4$  м. Ця область охоплює колоїдний стан, в якому можуть знаходитися і практично існують всі реальні тіла [16], наприклад природні і стічні води, промислові суспензії, тіла рослинного або тваринного світу, хмари і тумани, будівельні матеріали, метали, папір, їжа, тканини і т. д. [19].

#### 2.2. Класифікація дисперсних систем

Найбільш загальна класифікація дисперсних систем заснована на різниці в агрегатному стані дисперсійного середовища і дисперсної фази була запропонована Вольфгангом Оствальдом і потім дещо спрощена Р. Зігмонді.

### 2.2.1. Класифікація за взаємодією

За взаємодією між частинками дисперсної фази дисперсні системи ділять на: зв'язно-дисперсні системи і вільно-дисперсні системи.

За характером взаємодії колоїдних частинок з дисперсійним середовищем дисперсні системи ділять на ліофільні і ліофобні:

- Ліофільні системи – система, в якій дисперсні частинки сильно взаємодіють з розчинником. Коли вода є розчинником, її можна назвати гідрофільною системою. Наприклад – розчини білків або полісахаридів у воді;
- Ліофобні системи – в якій дисперсні частинки погано взаємодіють з розчинником. Коли вода є розчинником, ці системи можна описати як гідрофобні, оскільки поверхня частинок тільки трохи змочується водою. Прикладами є колоїдні розчини дорогоцінних металів.

Вперше ця класифікація була запропонована німецьким вченим Фрейндліхом і потім розвинена П.А. Ребиндером.

### 2.2.2. Класифікація за розміром частинок

За розміром частинок дисперсні системи ділять на три типи:

1. Грубо–дисперсні системи (суспензії, емульсії, порошки, грубі зависі), розмір частинок більше 1 мкм ( $10^{-6}$  м), а питома поверхня менше  $1\text{ м}^2/\text{г}$ ;
2. Системи середньої дисперсності 1 – 0,1 мкм ( $10^{-6}$  –  $10^{-7}$  м); Іноді їх об'єднують з грубо–дисперсними системами.
3. Колоїдно–дисперсні системи (або золі) мають розмір частинок 100 – 1 нм ( $10^{-7}$  –  $10^{-9}$  м), а питома поверхню більше  $10\text{ м}^2/\text{г}$ .

Далі йдуть істинні (молекулярні та іонні) розчини, які мають розмір частинок менше  $10^{-9}$  м. В таких розчинах вже немає поверхні поділу фаз і вони

не належать до дисперсних систем. У таблиці 2.1 наведені відмінності дисперсних систем та розчинів.

Таблиця 2.1

Відмінності дисперсних систем та розчинів

<b>Грубо дисперсні системи</b>	<b>Колоїдні системи</b>	<b>Справжні розчини</b>
Непрозорі	Прозорі, опалесціують	Прозорі не опалесціують
Мають поверхню поділу фаз	Мають поверхню поділу фаз	Не мають поверхні поділу фаз
Частинки не проходять через паперовий фільтр	Частинки проходять через паперовий фільтр, але затримуються целофаном	Частинки проходять через паперовий фільтр і целофан
Нестійкі кінетично і термодинамічно	Відносно стійкі кінетично	Стійкі кінетично та термодинамічно
Старіють в часі	Старіють в часі	Не старіють в часі
Частинки видно в оптичний мікроскоп	Частинки видно в електронний мікроскоп	Частинки не видно в сучасні мікроскопи

За розмірами частинок дисперсної фази виділяють високодисперсні (ультрамикрогетерогені або ультрадисперсні колоїдні системи), середньодисперсні (мікрогетерогенні) і грубодисперсні системи ( $10^{-9}$ - $10^{-5}$ м і більш  $10^{-5}$ м відповідно).

В основі класифікації пористих систем розмірами пір, лежить розподіл, запропонований М. М. Дубиніним. Мікропористими називають пористі матеріали з розмірами до 2 нм, мезопористого – від 2 до 50 нм, макропористі – понад 50 нм. Також дисперсні системи класифікують за кількістю характерних розмірів (мірній), за наявністю частинок однакових або різних розмірів. Визначення розмірів частинок проводять різними методами – оптичними, седиментаційним і іншими.



### 2.2.3. Класифікація за агрегатним станом

Залежно від **агрегатного стану** дисперсної фази та дисперсного середовища, гетерогенні системи поділяють на тверді, рідкі, газоподібні (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2.

Типи гетерогенних систем

Дисперсна фаза	Дисперсне середовище (розчинник)	Скорочене позначення	Приклади систем
Рідина	Газ	р/г	Тумани, аерозолі рідких речовин
Тверде тіло	Газ	т/г	Дими, аерозолі твердих речовин
Газ	Рідина	г/р	Піни, газові емульсії
Рідина	Рідина	р/р	Емульсії (наприклад молоко)
Тверде тіло	Рідина	т/р	Суспензії та колоїдні розчини
Газ	Тверде тіло	г/т	Тверді піни, пемза, активне вугілля
Рідина	Тверде тіло	р/т	Гелі, драглі
Тверде тіло	Тверде тіло	т/т	Сплави металів, природні мінерали

Вперше дисперсні системи за агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища класифікував В. Оствальд в 1891 р. Відповідно до цієї класифікації можливі дев'ять комбінацій дисперсної фази і дисперсійного середовища, кожна з яких може перебувати у вигляді газу, рідини і твердого тіла. На практиці реалізуються тільки вісім комбінацій, оскільки гази в нормальних умовах необмежено розчинні один в одному і, отже, утворюють гомогенну систему.

Класифікація, запропонована В. Оствальдом, в даний час є найбільш загальновизнаною. Вона виявилася дуже зручною для розгляду всього

різноманіття можливих дисперсних систем.

### 2.3. Золі, аерозолі, гелі, порошки

**Золі** – седиментаційно-стійкі високодисперсні системи з твердою дисперсною фазою і рідким дисперсійним середовищем. У силу сформованої традиції золі часто називають колоїдними розчинами.

**Колоїдні системи** (колоїдно-дисперсні системи, колоїди) – гранично високодисперсні (мікрогетерогенні) системи. Частинки дисперсної фази в колоїдній системі – **колоїдні частинки** – зазвичай мають розмір від 1 нм до 100 нм. У газі або рідині вони вільно і незалежно одна від іншої беруть участь в інтенсивному броунівському русі, рівномірно заповнюючи весь обсяг дисперсійного середовища [31].

**Аерозолі** – дисперсні системи, в газовому дисперсійному середовищі яких знаходяться в підвішеному стані тверді або рідкі частинки дисперсної фази.

**Гелі** – високодисперсні системи з рідким дисперсійним середовищем, що містить структурну сітку (каркас), утворену частинками дисперсної фази. Типові гелі у вигляді драглисті опадів утворюються з золів при їх коагуляції або в процесах виділення нової фази з пересичених розчинів. Якщо дисперсійне середовище газоподібне, то утворюються аерогелі.

**Порошок** – двофазні системи, що представляють собою тверді частинки дисперсної фази, розподілені в повітрі або інший газовому середовищі. Або, іншими словами, порошки являють собою сукупність що у поєднанні індивідуальних твердих тіл або їх агломератів (агрегатів) (рис.2.1.). Зазвичай до порошоків відносять більшість сипучих матеріалів.

Однак термін «порошки» коректно застосовувати до високодисперсних систем з такими розмірами частинок, при яких сила міжчастичної взаємодії стає порівнянна або менше їх ваги.

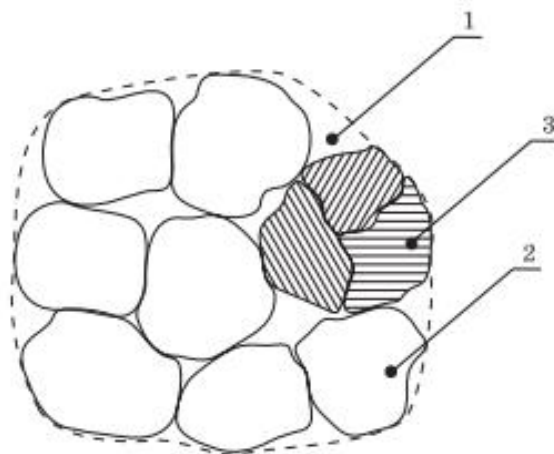


Рис. 2.1. Співвідношення агрегатів, часток і областей когерентного розсіювання (ОКР): 1 – агрегат; 2 – частка; 3 – ОКР

Відповідно до даної умови, розмір кожної частинки лежить, як правило, в межах від 0,001 до 1000 мкм. Дисперсні фази величиною менше 0,001 мкм зазвичай називають кластерами 1000 мкм і більше – гранулами. Порошок, що складається з частинок з розміром менше 1 мкм, зважений в газовій фазі і бере участь в броунівському русі, утворюючи аерозолі, пил і дими.

**Частка** – одиниця порошку, яку не можна легко розділити в звичайних сепараційних процесах. Частка може складатися з декількох зерен, тому термін «Зерно» – не синонім терміну «частка».

**Агломерат (агрегат)** – кілька частинок, з'єднаних в більші утворення. Агрегати й агломерати розрізняють за наявністю внутрішньої пористості. В агломераті присутні міжчастичні порожнечі (рис. 2.2), в агрегатах – немає (рис. 2.2, б).

Класифікація дисперсних систем за розмірами і питомою поверхнею дисперсної фази досить широко використовується в різних областях науки і виробництва. Залежно від інтенсивності сил взаємодії між речовиною дисперсної фази і дисперсійного середовища за рахунок молекулярних сил на кордоні розділу фаз дисперсні системи поділяються на ліюфобні. Для перших характерно сильна міжмолекулярна взаємодія речовини дисперсної фази з середовищем, для

других – слабка. Ця взаємодія призводить до утворення сольватних (гідратних) шарів з молекул дисперсійного середовища (води) навколо частинок. Зазначені відмінності обумовлюють різний механізм стабілізації і коагуляції ліофобних і ліопротівних колоїдів. [20, с. 43]

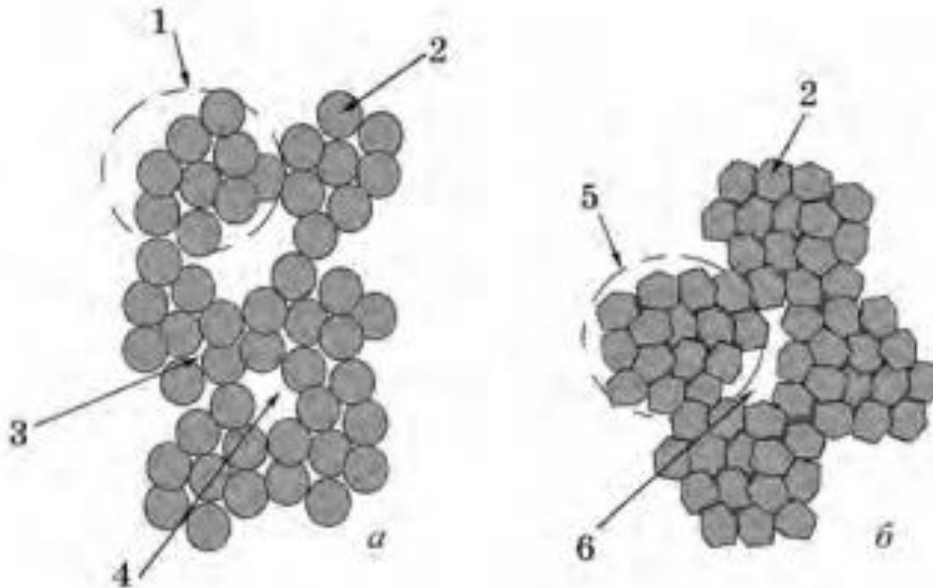


Рис.2.2. Структура агломератів

### 2.3.1. Види дисперсних фаз

Дисперсні фази в реальних системах мають різноманітну форму: це можуть бути сфери, голки, лусочки, циліндри, нерівні утворення. Крім того, дисперсну фазу можуть становити покриття, плівки, мембрани, нитки, капіляри, різні волокна, пори. У зв'язку з цим, класифікація дисперсних систем ґрунтується на геометрії або числі вимірювань характерних розмірів дисперсної фази. Характерними слід вважати такі розміри, які визначають дисперсність.

Дисперсність – величина, зворотна розміром частинок дисперсної фази. Характерні розміри і дисперсність тривимірних тіл визначаються в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 2.3) [17].

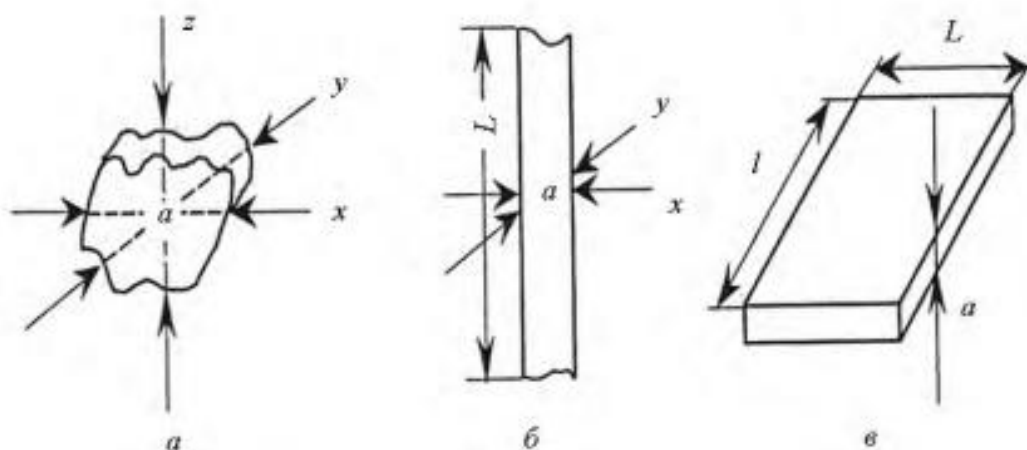


Рис. 2.3. Нульмірна (а), двовимірна (б) і одномірна (в) дисперсна фаза

Отже, двовимірні системи складають волокна, нитки, капіляри, які мають макродовжину, а два інших розміри вимірюються в нанометрах. У разі одновимірних тіл тільки один розмір визначає дисперсність. До одновимірних матеріалів відносяться плівки, мембрани, покриття, товщина яких вимірюється в нанометрах, а два інших вимірювання мають макроскопічні розміри. До тривимірних наносистем відносяться об'ємні наноматеріали.

## 2.4. Будова колоїдних частинок

Вважається, що колоїдний розчин складається з міцел, які утворені зарядженими колоїдними частинками. Заряд виникає в результаті селективної адсорбції іонів на поверхні частинок або в результаті іонізації поверхневих функціональних груп твердої фази [9].

У міцели є три компоненти: серцевина (ядро), шар адсорбційних іонів та шар дифузійних іонів. **Ядро** є основною частиною міцели і являє собою сукупність нейтральних атомів або молекул, загальна кількість яких становить сотні мільйонів одиниць. Іони (селективна адсорбція) адсорбуються на ядрі, що дає йому певний заряд, тому їх називають потенціало-утворюючими. Потенціал, що створюється в ядрі, також називається електротермодинамічним і викликає подальше прикріплення до іонів, створюючи потенціал для багатьох інших іонів

із протилежним знаком заряду. Цей електричний подвійний шар потенційно сформованих іонів разом із зустрічними іонами (іонами протилежного знаку) утворює **адсорбційний шар** іонів. Деякі протиіони слабо зв'язані з потенційно утвореними іонами і вільно рухаються в розчиннику, утворюючи **дифузійний шар**. Ядро разом з адсорбційно-дифузійним шаром іонів утворюють міцелу, яка, як правило, є електронейтральною (тоді як сама колоїдна частинка має певний заряд) (рис.2.4).

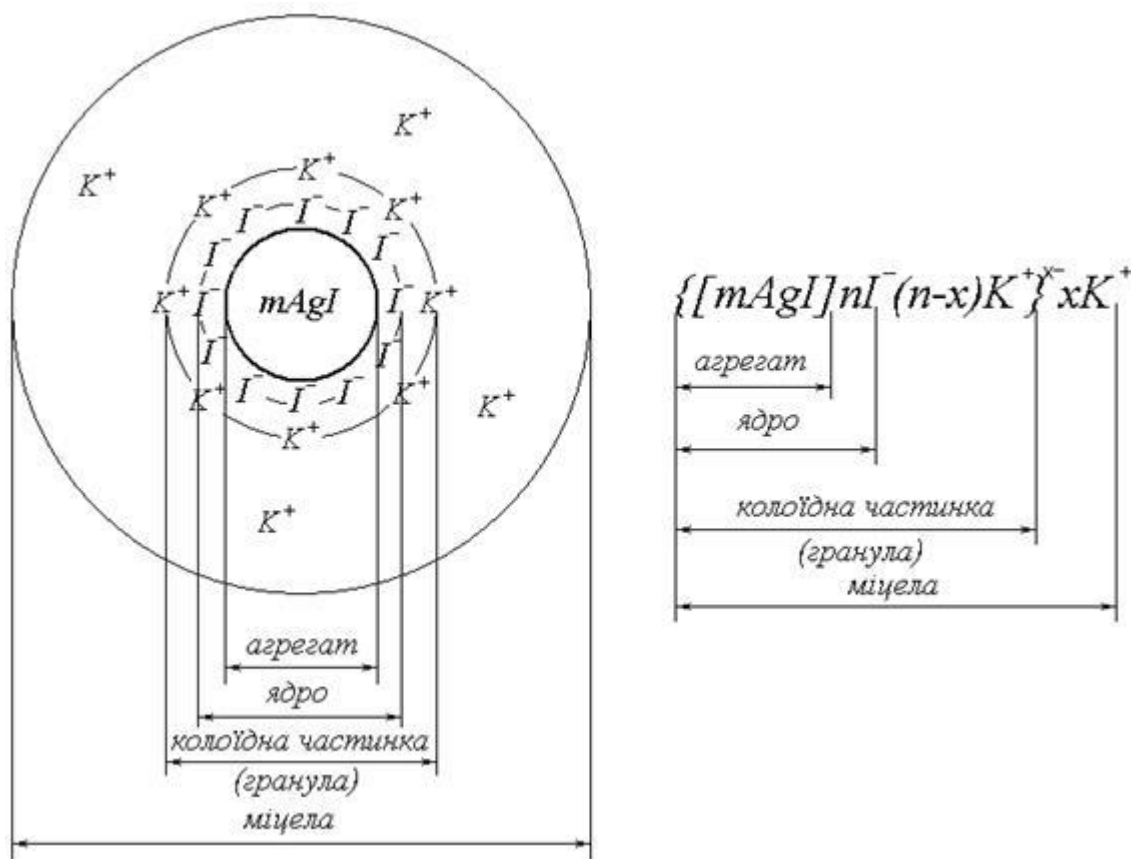


Рис. 2.4. Схема будови міцели йодиду срібла з від'ємно зарядженою колоїдною частинкою

## 2.5. Стійкість дисперсних систем

Стійкість дисперсних систем залежить від їх властивостей, які характеризують дану систему в цілому, а також від властивостей дисперсійного середовища і дисперсної фази.

Стійкість дисперсної системи – характеризує незмінюваність в часі її

основних характеристик, зокрема таких як розмір і заряд частинок, рівномірність розподілу частинок в об'ємі розчинника. Колоїдні розчини мають кінетичну та агрегаційну стабільність.

**Кінетична стабільність** – це здатність дисперсної системи перебувати в колоїдному стані, та не коагулювати. Це значною мірою залежить від поверхневого заряду та розміру дифузійного адсорбційного шару.

**Стабільність агрегації** – це здатність системи підтримувати постійний розмір частинок. Втрата агрегатної стійкості відбувається внаслідок зчеплення частинок та їх інтеграції в агрегати. Результатом є осадження дисперсійної фази та коагуляція колоїду [28].

Більшість колоїдних розчинів кінетично і агрегативно нестійкі, а їх **стійкість** зростає:

1. При наявності однойменного заряду на частинках, що приводить до взаємного відштовхування, перешкоджаючи агрегації;
2. При наявності гідратної оболонки навколо протиіону, яка запобігає злипанню частинок.

**Стабілізація** (захист) колоїдних розчинів досягається додаванням невеликої кількості високомолекулярних речовин, які адсорбуються на поверхні частинок і перешкоджають їх злипанню. Білкові та полісахаридні добавки найкраще стабілізуються. Захист колоїдних білків має велике значення для біологічних рідин. Таким чином, у сечі нерозчинні фосфати та карбонати кальцію та органічні речовини утримуються в колоїдному стані завдяки адсорбції цих речовин молекулами білка на поверхні частинок.

Усі біологічні рідини є колоїдними розчинами, оскільки містять нерозчинні речовини (холестерин, тригліцериди, вищі жирні кислоти тощо), які розчиняються лише завдяки стабілізації.

Порушення стабільності жовчних та сечових колоїдів призводить до утворення каменів, знижена стійкість колоїдної системи крові призводить до відкладення холестерину та ліпідів у стінці судини.

## 2.6. Коагуляція як метод очистки води

Вода, яка використовується для господарсько-питних цілей, повинна відповідати вимогам діючих санітарних правил. Якість води характеризується органолептичними показниками: відсутністю забарвлення, каламутності, присмаку, запахів, шкідливих мінеральних і органічних суспензій [7].

Для додання воді споживчих якостей з можливістю застосування в питне водопостачання застосовують багатоступеневу очистку, що включає різні методи водопідготовки, одним з яких є метод коагуляції води.

**Коагуляція** колоїдних розчинів – це процес асоціації і збільшення розмірів частинок і в кінцевому підсумку випадіння дисперсної фази в осад. Коагуляцію колоїдної системи можуть викликати такі фактори:

- Підвищення або зниження температури;
- Перемішування розчину;
- Додавання до розчину алкалоїдів, барвників;
- Зміна реакції середовища;
- Додавання іонів, які мають однаковий заряд з проти іоном, тобто заряд протилежний заряду гранули.

Коагуляційний ефект іонів характеризується **порогом** коагуляції, тобто найнижчою концентрацією електроліту, при якій коагулює колоїдний розчин. Ефект коагуляції електролітів залежить від величини іонного заряду та концентрації. **Правило Шульце–Гарді:** - коагулююча дія іонів зростає з підвищенням їх валентності.

Водопідготовка включає в себе комплекс заходів з очищення поверхневих, ґрунтових вод від грубих і дрібних домішок, зважених і колоїдних сполук, знебарвлення за допомогою коагулянтів. Коагуляція води прискорює осадження і фільтрування домішок у водному розчині.

У водній дисперсійній системі зважені речовини в основному мають однойменні заряди. Це обумовлює їх стабільність за рахунок сил відштовхування між молекулами. Реагенти для коагуляції води збільшують концентрацію іонів в



дифузному шарі, сприяють його зменшенню та приведення міцели (колоїдної частинки з дифузним шаром навколо неї) в ізоелектричну форму. В такому стані гідрозолі колоїди мають нульовий заряд, а значить, немає перешкод до їх зближення і формування агрегатів. Завершується процес коагуляція відділенням укрупнених частинок від рідкої фази осадженням. Коагуляція для очищення води забезпечує ефективне випадання домішок в осад.

Сили відштовхування електростатичного природи виникають при зіткненні колоїдних частинок, обумовлені подвійними електричними шарами і силами тяжіння (так звані сили Лондона - Ван-дер-Ваальса).

Існує три типи сил Лондона - Ван-дер-Ваальса:

1. взаємодія дипольних моментів;
2. поляризуюча дія постійного диполя однієї молекули на іншу;
3. сили квантово-механічної природи.

Ці сили взаємопов'язані тим, що в атомах внаслідок руху електронів утворюють дипольні моменти, які вчиняють у просторі коливання; частота цих коливань становить  $10^{15}$  -  $10^{16}$  Гц. коливний диполь одного атома поляризує інший атом, в результаті виникає взаємна тяжіння.

Сили Лондона - Ван-дер-Ваальса, що виникають між окремими атомами, проявляються на дуже малих відстанях порядку атомних розмірів. При взаємодії колоїдних частинок внаслідок адитивності дисперсійних сил взаємодія між частинками проявляється на значно більших відстанях. У 1937-1941 рр. незалежно один від одного Б.В. Дерягин і Л.Д. Ландау в СРСР і Е. Фервей і Д.Т. Овербек [11, С.42] в Голландії розвинули кількісну теорію стійкості колоїдних систем.

Ця теорія, названа ДЛФО (перші букви прізвищ авторів теорії), отримала широке визнання. У ній розглядається спільна дія сил тяжіння Лондона - Ван-дер-Ваальса і електростатичних сил відштовхування.

Коагуляція води в шарі зернистих фільтрів протікає з більшою інтенсивністю і швидкістю, ніж при звичайній коагуляції у вільному обсязі [26, с. 54].

Процес злипання мікро- і макрочастинок, значно розрізняються за розміром, у суспензії з різним ступенем дисперсності має особливе значення при освітленні води в освітлювачах із шаром зваженої контактної середовища.

Формування агломератів навколо частинок гідроксидів, які збирали домішки з утворенням пластівців, відбувається в фільтруючому шарі за рахунок прилипання коагулятивних частинок до зерен фільтруючої речовини.

При проведенні коагуляції в шарі зернистого завантаження пропадає необхідність хлопотворення в камерах, осадження і освітлення розчинів в відстійниках. Освітлювачі показують кращі показники з високою продуктивністю при позбавленні від каламутності води на відміну від відстійників.

#### 2.6.1. Умови для ефективного очищення води

Для збільшення ефективності очищення води передбачено створення оптимальних умов для інтенсифікації процесу осадження гідроксидів алюмінію і заліза і прискорення протікання коагуляції [34, с. 43].

**Кількість і склад коагулянтів** – зі збільшенням частки гідролізу солі швидкість утворення пластівців і випадання в осад  $Al(OH)_3$  або  $Fe(OH)_3$  зростає.

**Температурний режим і перемішування розчину** – ці параметри повинні знаходитися в рівновазі, так як підвищення температури збільшує в'язкість розчину і зменшує швидкість руху частинок. Оптимальною вважається стабільно підтримувана в автоматичному режимі температура  $20 - 25^{\circ}C$  при інтенсивному перемішуванні. Коливання температури призводить до замулення води, його показник повинен бути в межах  $\pm 1^{\circ}C$ . При низьких температурах прискорення коагуляції води і укрупнення пластівців може досягатися шляхом подовження часу перемішування.

**Підтримка оптимального рівня рН** – максимальне осадження гідроксиду

алюмінію відбувається при рівні водневого показника 6,0–6,5, видалення гуматів відбувається при рН 5,5–6,5, коли вони переходять в важкорозчинні і добре коагулюючі гумінові кислоти. З'єднання заліза повніше випадають в осад при значеннях рН 6,5–7,5. Для кожного джерела необхідну величину рН встановлюють експериментально з урахуванням складу води [31, с. 45].

При високій лужності природної води проводять підкислення коагулянту концентрованої сірчаної кислотою.

**Застосування допоміжних речовин** – попереднє введення в водний розчин окислювачів підвищує ефективність коагуляції. Хлор, озон надають руйнівну дію на гідрофільні органічні сполуки, що стабілізують частинки домішок, створюючи необхідні умови для коагуляції. Цей ефект особливо проявляється при очищенні вод з підвищеною кольоровістю.

Введення флокулянтів через 3-5 хвилин після додавання коагулянтів прискорює агрегацію [1, с. 32].

**Скорочення часу коагуляції досягається додаванням замутнювачів** – частинки розміром до 3 мкм прискорюють процес утворення пластівців на 30-50%. Як штучні замутнювачів застосовують порошкоподібний активоване вугілля або глинистий суспензія.

Прискорити процес формування пластівців і заощадити 25-30% коагулянту можна введенням шламів – промивної води фільтрів і осаду відстійників. Рекомендується починати з введення 5-25% промивної води від обсягу вихідної, а потім додавати коагулянт.

Інтенсифікувати коагуляцію можна впливом електричного, магнітного полів, ультразвуком, іонізуючим випромінюванням.

## **2.7. Освітлення і коагуляція води**

Водопідготовка – це складний багатоетапний процес, який об'єднує багато

методів очищення в залежності від природи забруднювачів.

Коагуляція при водопідготовці – це важлива складова частина цього процесу. З її допомогою з води видаляють зважені домішки, колоїдні, полімерні сполуки, детергенти, здатні в різних умовах змінювати дисперсійну стійкість, бактеріальні та бактеріологічні забруднення. При цьому усувається кольоровість води, дезактивуються патогенні мікроорганізми [7].

До основних особливостей, які суттєво впливають на інтенсифікацію процесу коагуляційного очищення забруднених вод, слід віднести наступні фактори [10, 11, 24]:

1. Підвищення дози коагулянту до оптимальної збільшує швидкість хлопєтворення. Цьому процесу також сприяють підвищення температури і інтенсивність перемішування коагулянту з очищається водою. Коагулювання забруднень у воді є самим повільним процесом, який гальмує пластівців і седиментацію гідроксиду алюмінію. Так, наприклад, при низьких температурах знижуються рухливість колоїдних частинок і частота їх зіткнень, які обумовлюють агрегацію. зниження температури води від 20 до 1°C збільшує час коагуляції приблизно в 1,5 рази. Це пов'язано зі зменшенням кінетичної рухливості домішок у воді і підвищенням її в'язкості, яка при температурі 1 ° C приблизно в 2 рази більше.

2. Рухливість забруднень у воді і продуктів гідролізу коагулянту при низьких температурах найбільше знижується в результаті збільшення ступеня їх гідратації, яка сприяє зростанню розмірів частинок. Зі зростанням ступеня гідратації частинок число їх зіткнень зменшується. Це призводить до стабілізації процесу коагуляції, і система стає більш стійкою [34].

3. Рухливість забруднень в очищується воді, в процесі коагуляції, збільшується при її перемішуванні. Так, наприклад, ефективне пластівців відбувається при вдосконаленні роботи гідравлічних змішувачів, збільшення часу перемішування, а також ряду інших чинників.

Найсуттєвішим етапом, що дозволяє значно підвищити ефективність і подальшого освітлення очищається води, є механічне перемішування води, що очищається з введенням в неї коагулянтном.

4. Попередня обробка води окисниками також підвищує ефективність процесу коагуляції. Це пов'язано з тим, що окислювачі руйнують гідрофільні органічні сполуки, які стабілізують дисперговані у воді забруднювачі та полегшують умови осадження. Особливо ефективно використання окисників при обробці злегка помутнілої кольорової води. Це збільшує гідравлічний розмір пластівців і інтенсифікує процес очищення води.

На підставі вищевикладеного можна виділити наступні методи поліпшення процесу очищення води, які можуть бути розділені на кілька груп [11, 12]:

- вдосконалення режиму реагентної обробки забрудненої води коагулянтном – сульфатом алюмінію і флокулянтном – ПАА;
- додавання до існуючої технології додаткових реагентів, мінеральних і сорбційних матеріалів;
- рециркуляція коагульованої суспензії в зону введення коагулянту;
- перемішування води, що очищається аерацією або використання в змішувачах і камерах механічного змішування реагентів з водою;
- заміна сульфату алюмінію і ПАА на інші більш ефективні в даних умовах коагулянти і флокулянти;
- додаткове застосування окислювачів: хлору, озону та ін .;
- використання фізичних методів на додаток до реагентної очищенні води: обробка забрудненої води магнітним і електричним полем; вплив ультразвуком або ультрафіолетовим опроміненням та ін .;
- поліпшення технічного стану очисних споруд, зокрема, відстійників і фільтрів, а також режиму і умов їх експлуатації.

З перерахованого переліку заходів видно, що частина з них виконується в межах існуючих технологій, інші вимагають реконструкції споруд або зміни

технологічної схеми очищення. Рішення по застосовуваних методів повинні прийматися в залежності від якості вихідної води і забруднюючих речовин, для яких підбираються оптимальні умови коагулювання (вид і доза коагулянтів і флокулянтів, місце і порядок їх введення, попереднє окислення хлором або іншими окислювачами, режими перемішування та ін.), які дозволяють забезпечити необхідний ступінь очищення води в процесі її освітлення [12-14, 10]. з цих умов, а також на основі аналізу роботи існуючих водопровідних станцій вибираються і додаткові методи обробки води.

#### 2.7.1. Методи вдосконалення процесу очистки води

До методів вдосконалення процесу реагентної очистки води коагулюванням слід віднести наступні положення:

1. Зазвичай коагулянт вводиться в оброблювану воду безперервно однієї повною дозою в певну точку. Досвід використання реагентної обробки води показує, що на багатьох водопровідних станціях застосовувалися і застосовуються різні способи введення коагулянту, що дозволяють зменшити витрату реагенту, і відповідно, зменшити експлуатаційні витрати на його придбання. До таких способів відносяться [22]:

- фракційне введення реагенту;
- роздільне (концентроване) коагулювання
- переривчасте коагулювання;
- робота на дефіцитних дозах коагулянту та ін.

**Фракційна коагуляція** – це додавання розрахованої кількості коагулянта до води не однієї, а двох або більше послідовних доз через задані інтервали [22, 21].

Технологічний ефект, який досягається при фракційному коагулюванні, з кінетичної точки зору, можна пояснити освітою в результаті гідролізу перших порцій коагулянту твердої фази, який виступає в ролі центрів при гідролізі

наступних порцій коагулянту. Це призводить до більш повного використання коагулянту. Так, наприклад, повністю доза коагулянту може бути введена декількома порціями в різні точки змішувача або перед надходженням води, що очищається в камеру [20, 22].

**Переривчасте (періодичне) коагулювання** засноване на більш повному використанні властивостей продуктів гідролізу коагулянту при їх надлишку. воно складається в чергуванні періодів подачі в воду, що очищається збільшених доз коагулянту з періодами повного припинення коагулювання. Наприклад, в протягом 2 ч воду коагулюють необхідною дозою, потім 2 ч воду не коагулюють. При цьому зменшується витрата коагулянту на 30-40%, а також зменшується навантаження на очисні споруди. Робота на дефіцитних дозах коагулянту найбільш ефективна в випадках контактної коагуляції води і призводить, природно, до економії коагулянту, в ряді випадків, за рахунок деякого погіршення якості очищується води [27].

**Роздільне (концентроване) коагулювання** полягає в дозуванні усієї кількості коагулянту лише в частину оброблюваної води. після 49 змішання з коагулянтом потік обробленої води об'єднують (зазвичай в початку камер утворення пластівців) з потоком решті, очищається [37]. При використанні цього методу може бути отримана економія коагулянту до 20%. Переваги концентрованого коагулювання пояснюються тим, що розподіл за все коагулянту в частині води створює умови для прискореного утворення часток, а після змішування з необробленою водою пластівці, сформовані в умовах підвищеної концентрації коагулянту, сприяють кращому протіканню процесів очищення води.

До 2000 року на багатьох водоочисних станціях проводилося періодичне коагулювання води або застосовувався один з перерахованих вище способів. Всі ці запропоновані способи не знайшли широкого застосування на практиці. це пов'язане з тим, що вони не завжди дають позитивні результати і істотно залежать від рН води. Так, при обробці малокольорових вод при підвищених значеннях рН (від 7,6 до 8,0) фракційне введення коагулянту призводить до утворення

розчинених продуктів гідролізу алюмінію, які мають малою величиною позитивного заряду або мають негативний заряд. Це ускладнює взаємодію продуктів гідролізу з негативно зарядженими гумусними речовинами та освіта твердої фази.

При такому проведенні коагулювання не завжди вдається забезпечити значення кольоровості води нижче 20 град. Крім того виникає необхідність отримання дозволу Санепідемстанції на підвищення величини кольоровості до 30-35 град. [7]. Метод концентрованого коагулювання також істотно залежить від властивостей води, що очищається. Ефективність методу також визначається повнотою і швидкістю перемішування розчину коагулянту з потоком води, що очищається [7, 22].

Численними дослідженнями було також встановлено, що частіше всього диктують показниками якості, в процесі освітлення води коагулювання, були не тільки кольоровість і каламутність, але і перманганатне окислювання. Тому, всупереч існуючій раніше практиці економії коагулянту і прагненні працювати на менших дозах, забезпечення нормативу по перманганатне окислювання вимагає часом підвищення необхідних його доз [20-22].

Крім того, слід зазначити, що впровадження нових мікробіологічних показників та підвищені вимоги до них також вимагають постійної коагуляції води, навіть взимку, збільшення глибини очищення води у всіх відношеннях для забезпечення ефективної роботи всієї очисної станції.

2. Практично на всіх водопідготовчих станціях, на додаток до Коагулянти, застосовують флокулянт - поліакриламід (ПАА). Відповідно до СанПіН та «Технологічними вказівками на застосування ПАА» [14] розрив у часу між введенням реагентів повинен становити 2 хв. Однак на практиці обидва реагенти часто вводять практично в одну точку. В результаті такого введення ефективність істотно знижується. Тому для ефективного використання флокулянта має бути забезпечено певний час між початком коагуляції і введенням флокулянта у відповідність з рекомендованим розривом у часі. цей проміжок часу може змінюватися в залежності від якості вихідної води, в основному від її



каламутності, температури і обраного технологічного режиму очищення води на кожній конкретній водопідготовчій станції.

Коагулянт (позитивно заряджений) викликає стиснення подвійного шару і, таким чином, нейтралізує електростатичний заряд поверхні частинок. Отримані дестабілізовані частки оточують коагулянт, коли контакт встановлено. Швидке перемішування (кілька секунд) важливо на даному етапі, щоб отримати однорідну дисперсію хімічної речовини і збільшити можливість максимального контакту між частинками. після тривалого (Кілька хвилин) перемішування, відбувається коагуляція часток в більш великі осітки. Коли вони вже збільшилися в розмірі і вазі, починається осадження на дно, завдяки дії сил тяжкості.

На виході чиста вода не повинна містити коагулянт, але цього не відбувається тому, в основному, вода містить в достатній кількості гідроксид кальцію і карбонат натрію (жорстка вода) що призводить до осадження алюмінію у вигляді нерозчинного гідроксиду (утворюється безбарвний осад гідроксиду алюмінію). Якщо вода м'яка і не містить ні гідроксиду кальцію, ні карбонату натрію, то в неї додають вапняну воду або соду, з розрахунку 0.35 м вапняної води або соди на 0,5 м сульфату алюмінію. З хлорвмісних сполук алюмінію більше застосування при очищенні води є  $AlCl_3$  і особливо гідроксохлорида  $Al_2(OH)_5Cl$ .

В промислових масштабах виробляють і широко застосовують в практиці водопідготовки пентагідроксохлорид алюмінію  $Al_2(OH)_5Cl$ , так як він має позитивні властивості. При проведенні дослідження цього коагулянту інтенсифікується пластівців і прискорюється осадження коагульованої суспензії. істотно зменшується витрата коагулянту при очищенні малокольорових вод з малим вмістом солей і зважених часток. Зона найкращих значень рН значно підвищується, особливо в сторону низьких значень. Пентагідроксохлорид алюмінію відрізняється більш високим вмістом водорозчинного алюмінію, а його розчини не вимагають застосування нержавіючих сталей і протикорозійного захисту апаратури і трубопроводів. При зберіганні коагулянт не злежується і не старіє [24].

У порівнянні з іншими коагулянтами, особливо сульфатом алюмінію, цей хімічний продукт має значну перевагу – заліза хлорид характеризується високою швидкістю осадження різних домішок. Солі заліза мають кращі коагулюючі властивості в інтервалі рН 3,5-6,6 або 8-11. знебарвлення води краще протікає при рН 3,5-5,0. солі заліза переважно застосовують при очищенні каламутних жорстких вод з високим значенням рН, а також при очищенні стоків. З існуючих методів отримання гідроксихлориду алюмінію найбільше число пов'язане з використанням в якості вихідного матеріалу металевого алюмінію або оксиду (гідроксиду) алюмінію.

Коагулянт гідроксихлорид алюмінію має низку переваг:

- ефективно знижує мутність води;
- забезпечує пластівців в широкому діапазоні дози коагулянту без регулювання рН середовища;
- забезпечує високу швидкість утворення пластівців;
- ефективно знижує кольоровість води;
- сприяє видаленню іонів важких металів;
- дозволяє отримувати воду з меншим вмістом іонів алюмінію і хлору.

В основному гідроксихлорид алюмінію застосовують для очищення природних і стічних вод.

Отже, для ефективного очищення води сьогодні необхідно використовувати спеціальне комплексне обладнання з автоматизованими станціями приготування, дозування флокулянтів і коагулянтів, що підтримують оптимальні умови для здійснення ефективної підготовки води.

## **2.8. Висновки до розділу**

Дисперсні системи – утворення з двох або більшого числа фаз з сильно розвиненою поверхнею розділу між ними. У дисперсній системі принаймні одна з фаз розподілена у вигляді дрібних частинок в іншій, суцільній, фазі. Дисперсні системи, що складаються з якоїсь речовини в високого ступеня подрібнення

(дисперсної фази), рівномірно розподіленої в масі основної речовини (дисперсійному середовищі), часто зустрічаються в природі і широко використовуються в сучасних технологічних процесах.

Вважається, що колоїдний розчин складається з міцел, які утворені зарядженими колоїдними частинками. Заряд виникає в результаті селективної адсорбції іонів на поверхні частинок або в результаті іонізації поверхневих функціональних груп твердої фази.

Скорочення часу коагуляції досягається додаванням замунюючів. Частинки розміром до 3 мкм прискорюють процес утворення пластівців на 30-50%. Прискорити процес формування пластівців і заощадити 25-30% коагулянту можна введенням шламів – промивної води фільтрів і осаду відстійників. Рекомендується починати з введення 5-25% промивної води від обсягу вихідної, а потім додавати коагулянт.

У сучасній практиці для порушення агрегативної стійкості колоїдних домішок застосовують: неорганічні коагулянти; органічні поліелектроліти або флокулянти. Найчастіше в якості неорганічних коагулянтів застосовують солі слабких основ і сильних кислот: сульфат  $Al_2(SO_4)_3$ , хлорид  $AlCl_3$ , оксихлорид  $Al_2(OH) nCl_{6-n}$  алюмінію, сульфати і хлориди заліза (II) і (III), алюмінат натрію  $NaAlO_2$ . Їх суміші в різних процентних співвідношеннях порушують стійкість колоїдного розчину, використовуючи принцип катіонного обміну. Ефективність коагуляції води підвищується при зростанні валентності катіона.

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИ ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ВІД КОЛОЇДНИХ ЧАСТОК: ОСНОВНІ ПІДХОДИ ТА ПРИЛАДИ

#### 3.1. Основні підходи та прилади для очищення стічних вод від колоїдних часток

Робота численних апаратів, призначених для виділення зі стічних вод твердих і рідких домішок, заснована на гідродинамічних закономірностях процесу відстоювання. До таких апаратів відносяться пісколовки, первинні і вторинні відстійники, нафтоловушки [20].

При очищенні виробничих стічних вод застосовуються радіальні відстійники, в яких поєднані процеси відстоювання і усереднення стічної води по концентрації забруднень [16].

**Відстійник** є основною спорудою механічного очищення стічних вод. Відстійники застосовуються для затримування нерозчинених органічних забруднень (рис.3.1). За призначенням відстійники бувають [21]:

- первинні (що влаштовуються перед спорудами біологічної або фізико-хімічної очистки);
- вторинні (що влаштовуються після споруд для біологічного очищення для відділення очищеної води від активного мулу або біоплівки).

За характером руху води (за конструктивними ознаками) відстійники поділяються на три види [18]:

- горизонтальні;
- вертикальні;
- радіальні.

Первинні відстійники використовуються для відділення нерозчинних речовин від стічних вод, які під дією сили тяжіння осідають на дні відстійника або витікають на його поверхню. Вибір типу та конструкції відстійників залежить

від кількості та складу промислових стічних вод, що надходять на очисну споруду, властивостей мулу та місцевих умов очисної споруди. У будь-якому випадку, вибір та тип повинен визначатися на основі техніко-економічного порівняння кількох варіантів.

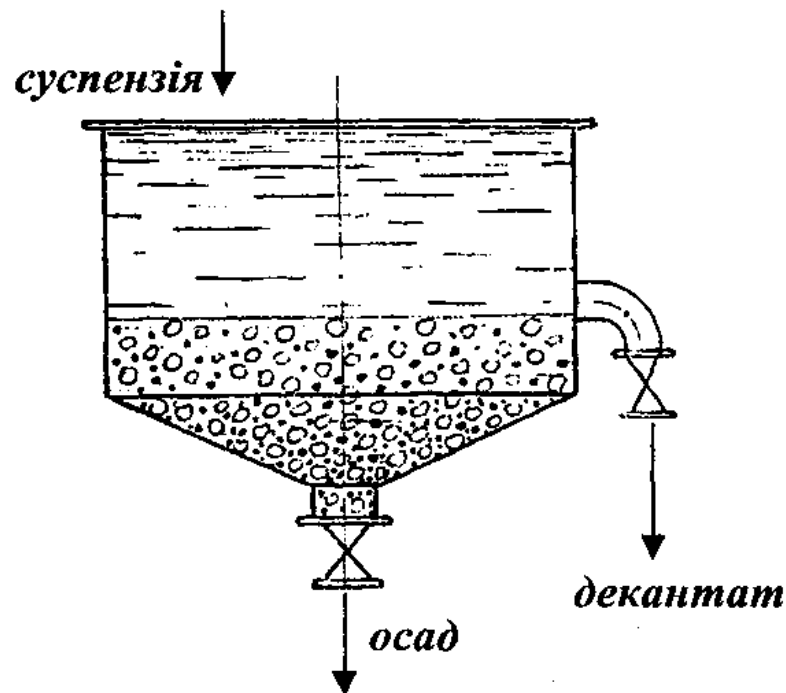


Рис.3.1. Відстійник

Найбільш поширені відстійники з впусканням води через центральну трубу з розтрубом. Стічні води надходять в центральну круглу трубу, що закінчувалася розтрубом і відбивних щитом, рухаються зверху вниз, потім піднімаються по кільцевому простору між центральною трубою і стінкою відстійника.

Тонкошарові відстійники класифікуються за такими ознаками [17, с. 32]:

- за конструкцією похилих блоків – на трубчасті і поличні;
- за режимом роботи – періодичної (циклічної) і безперервної дії;
- за взаємним рухом освітленої води і осаду – з прямоточним, протитечієм і змішаним (комбінованим) рухом.

Виробничі стічні води, що містять домішки з щільністю менше щільності води, спливаючі домішки (нафта, смоли, масла, жири та інші їм подібні),

очищують також відстоюванням в нафтоуловлювачі, смоло- і маслоуловлювачі.

Інтенсифікацію процесів осадження зважених часток із стічних вод здійснюють впливом на них відцентрових сил в спеціальних пристроях. До таких пристроїв відносяться гідроциклони, центрифуги, сепаратори.

**Гідроциклони** – апарати для освітлення виробничих стічних вод (для розділення суспензій) (рис.3.2). Принцип дії гідроциклону заснований на осадженні твердих частинок під дією відцентрових сил в обертovому потоці рідини. Відцентрові сили приблизно в сотні разів перевищують сили тяжіння (гравітаційні). До основних переваг гідроциклонів слід віднести [21, с. 14]:

- високу продуктивність і високу якість процесів поділу;
- компактність і простоту пристрою;
- порівняно низькі витрати на будівництво і експлуатацію установок;
- відсутність обертovих механізмів, призначених для генерування відцентрової сили.

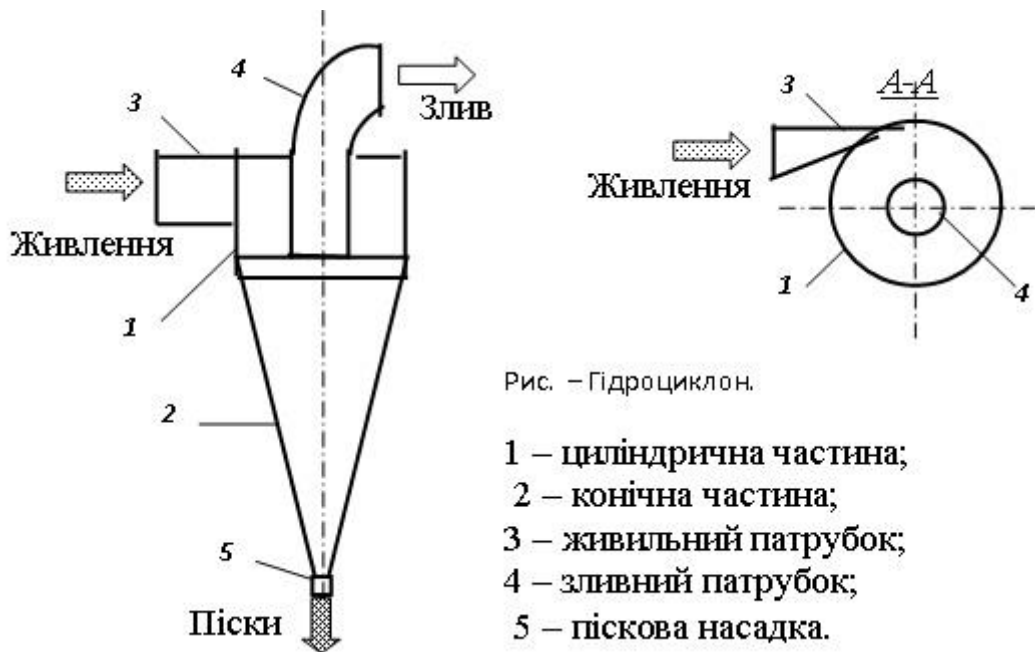


Рис.3.2. Гідроциклон

Таким чином, технологічні схеми очищення стоків варіюються в залежності від специфіки виробничого процесу. При цьому в більшості випадків

ці схеми мають на увазі використання прийомних накопичувальних резервуарів і відстійників. У таких резервуарах відбувається осаджування завислих речовин. Часто застосовуються проміжні резервуари, куди надходять стоки після першого етапу обробки, наприклад, після флотаційних пристроїв. У них відбувається освітлення вод, після якого води піддаються фінальному очищення. Накопичувальні і проміжні резервуари є металевими, залізобетонні або пластикові конструкції, які потребують періодичної професійної зачистки.

### **3.2. Підвищення ефективності очищення вод від завислих речовин за рахунок використання сучасних технологій**

В даний час вимоги до ступеня очищення стічних вод підвищуються. У зв'язку з цим їх піддають додатковій більш глибокому очищенню (доочищення). В процесі очищення передбачають також обробку осадів стічних вод і знезараження стічних вод перед скиданням у водойму[2].

У природних і сильно мінералізованих стічних водах є нерозчинені речовини. В даний час великі промислові підприємства поступово переходять на замкнутий цикл водопостачання, тому актуальною проблемою є підвищення ефективності очищення води. Завислі речовини дуже добре утримуються за допомогою іонообмінних фільтрів та напівпроникних мембран, які є частиною технології очищення. У той же час вони суттєво впливають на ефективність цих технологій очищення. Тому перед очищенням води необхідно очистити її від нерозчинених речовин.

Якщо очищення грубих забруднень, які легко осідають під дією сили тяжіння, можна здійснити шляхом звичайного відстоювання в відстійниках, то для відділення дисперсних колоїдних речовин від води потрібні більш складні процеси та обладнання. Колоїдні частки мають дуже малі розміри і тому беруть участь у броунівському русі, у той же час вони мають помітну швидкість дифузії ( $10^{-1}$ – $10^{-3}$  см<sup>2</sup>/с), що сприяє вирівнюванню концентрації часток за об'ємом. Колоїдні системи мають надлишок вільної енергії за рахунок надзвичайно

розвинутої питомої поверхні часток.

З точки зору термодинаміки, така система повинна мимоволі націлюватись на стан, в якому її вільна енергія була б мінімальною, тобто мимоволі зменшувала б площу поверхні і, таким чином, збільшувала частки. Однак на практиці колоїдні системи мають дуже високу стійкість до агрегації. Ця стабільність за розміром частинок сприяє стійкості до седиментації (стабільності концентрації забруднюючих речовин у цілому об'ємі води), оскільки гравітаційна сила, що спричиняє седиментацію, компенсується силами дифузії. Процес коагуляції є оптимальним з точки зору вартості та якості очищення води від колоїдних дисперсних речовин [2].

Колоїдні частинки з рН, характерним для природних вод та стічних вод, як правило, мають негативний заряд. Позитивно заряджені коагулянти нейтралізують негативний заряд, що оточує колоїдні частинки. Коли заряд навколо кожної частинки нейтралізований, вони поступово сходяться, зменшують свій ефективний радіус, з часом стають нестійкими і можуть зіткнутися один з одним. Коли молекули стикаються, вони з'єднуються між собою за допомогою водневих зв'язків або, наприклад, силами Ван-дер-Ваальса, створюючи великі маси або пластівці. Енергія змішування, яка використовується в процесі очищення, збільшує кількість і частоту зіткнень цих частинок, збільшує агрегацію твердої речовини та сприяє утворенню пластівців. Отримані пластівці видаляються з води відстоюванням у вертикальних відстійниках або фільтруванням. Забруднення зазвичай виділяють із води в процесі її відстоювання або флотації з подальшою фільтрацією очищеної води через гранули.

Процес осадження у вертикальних, горизонтальних і радіальних відстійниках, а також відстійниках різних конструкцій проводиться в інтервалі 1-1,5 години. Однак у випадку з пластинчастими або трубними відстійниками час відстоювання скорочується до 30-40 хвилин.

Тому в складній структурі відстійників у системах фізичної та хімічної обробки використовуються комбіновані конструкції, перевагою яких є



можливість рециркуляції стічних вод та шламу. Тонкошарові відстійники все частіше застосовуються у вітчизняній та світовій практиці, особливо з механічною камерою для утворення пластівців. Застосування методу тонкошарового осадження дозволяє значно активізувати процес відокремлення механічних домішок і забезпечити високий ступінь освітлення для конструкцій, що вимагають компактного розташування.

Відомо, що передбачуваний час перебування води в камері формування пластівців становить приблизно від 5 до 15 хвилин, незалежно від способу змішування, але залежить від довжини та інтенсивності [26].

В даний час, час очистки в існуючих установах становить від 1-ї до 4-х годин, а безпосередня коагуляція може тривати від 20 до 40 хвилин. Це означає, що процес відносно тривалий. Однак за останні роки з'явилися технології, які дозволяють активізувати процес, не втрачаючи якості. Однією з таких технологій є технологія "Actiflo" (рис. 3.3).

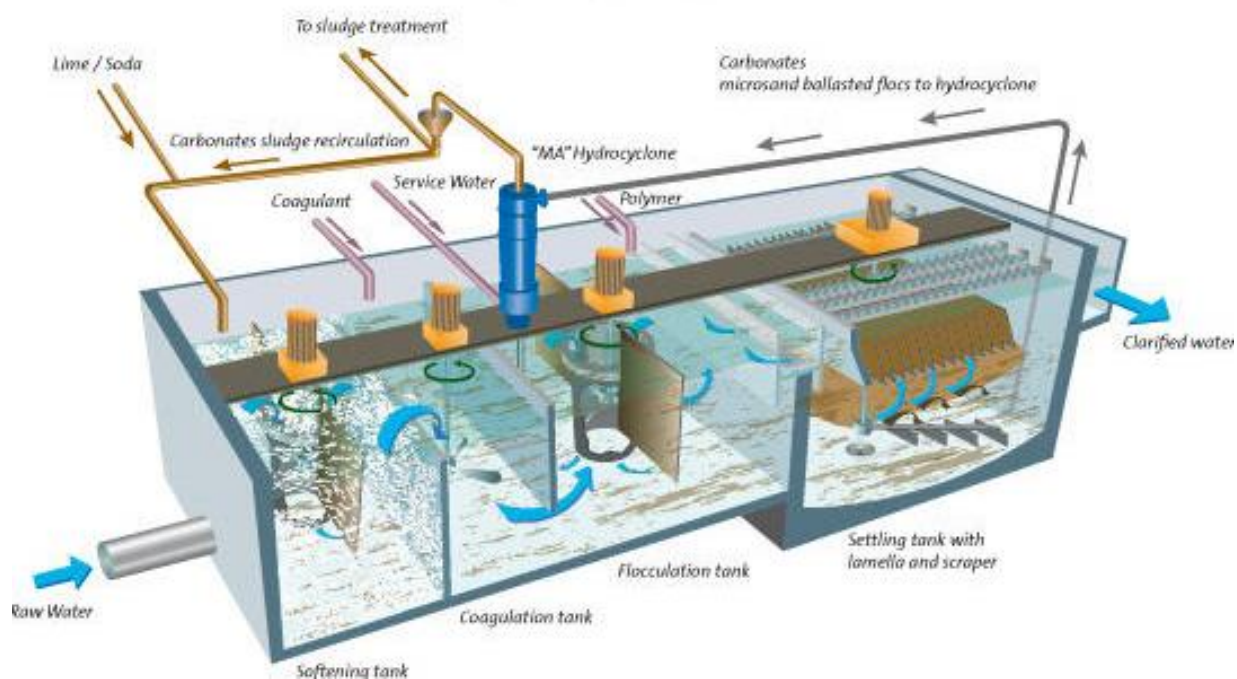


Рис. 3.3. Схема обробки води з рециркуляцією шламу та піску

Ця технологія поєднує процеси коагуляції, флокуляції та седиментації. Різниця між ними полягає в тому, що в реакційну зону потрапляє дуже дрібний

пісок, який додає ваги пластівцям коагуляції при застосуванні флокуляції. А також завдяки скороченому часу кристалізації збільшується щільності осаду. Ця технологія також забезпечує наявність змішування у три стадії (коагуляція, флокуляція та камера формування пластівців) [2].

Завдяки використанню цієї технології час осідання стічних вод можна значно скоротити, але ефективність цієї технологічної схеми може досягати 20000 м<sup>3</sup> для стічних вод. Основні параметри процесу наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Тривалість коагуляції для стічної води

Показник	Стічні води	Традиційні методи
Тривалість процесу	5-6 мин.	1-4 ч
Тривалість коагуляції	3-5 мин.	20-40 ин.

### 3.3. Особливості фізико-хімічної очистки стічних вод від колоїдних часток

Фізико-хімічні методи відіграють важливу роль у очищенні промислових стічних вод. Фізико-хімічна очистка стічних вод включає безліч різних методів, які можна застосовувати як окремо, так і в поєднанні з механічними, біологічними та хімічними методами. Видаляє як тверді зважені частинки, так і розчинені домішки. Розглянемо основні методи фізико-хімічної обробки [25].

Для осадження у воді найменших зважених та колоїдних частинок потрібно додати реагенти – розчин коагулянта (найбільш часто використовувані солі алюмінію та заліза) – сірчаноокислий алюміній  $Al_2(SO_4)_3$  і хлорне залізо  $FeCl_3$ , а також солі магнію, шламові відходи і відпрацьовані розчини окремих виробництв). В результаті реакції коагулянту з солями, що містяться у воді, утворюються пластівці, які затримують суспензії та колоїдні речовини під час осадження [29].

**Сорбція** – це процес поглинання речовини з навколишнього середовища твердою або рідкою речовиною. Існує три типи сорбції [13]:

- абсорбція – поглинання речовини всією масою рідкого сорбенту;
- адсорбція – поглинання речовини поверхневим рідким сорбентом;
- хемосорбція – сорбція, що супроводжується хімічною взаємодією сорбенту з поглинаючою речовиною.

Сорбційне очищення може застосовуватися самостійно і спільно з біологічним очищенням. Перевагами методу є можливість адсорбції речовин багатокомпонентних сумішей, а також висока ефективність очищення, особливо слабokonцентрованих стічних вод.

Метод сорбції застосовується для вилучення розчинених речовин (фенолу, миш'яку, сірководню) зі стічних вод, а потім використання очищених стічних вод у циркуляційних системах водопостачання. Рекомендується сорбційна обробка стічних вод, забруднених ароматичними сполуками, слабкими або неелектролітами, барвниками, необмежуваними сполуками, гідрофобними аліфатичними сполуками. Метод сорбційної очистки стічних вод не рекомендується використовувати лише для очистки від неорганічної сполуки та нижчі одноатомні спирти стічних вод.

**Адсорбцію** здійснюють наступними способами [17]:

- до стічної води додають сорбент в подрібненому вигляді, отриману суміш перемішують, потім відстоюють і фільтрують;
- стічні води безперервно пропускають через фільтр, завантажений сорбентом.

В якості сорбентів застосовують різні штучні і природні пористі матеріали: активоване вугілля, цеоліти (алюмосилікати), золу, шлак, торф, тирсу. Активність сорбенту характеризується кількістю поглинаючих речовини на одиницю об'єму або маси сорбенту ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\text{Кг}/\text{кг}$ ). Адсорбція використовується для глибокого очищення вод замкнутого водоспоживання і доочищення стічних вод від органічних речовин, в тому числі і від біологічно жорстких.

Апарати для сорбційного очищення стічних вод класифікуються за різними ознаками [24]:

- за організацією напрямку руху фаз;
- за конструкцією;
- за гідродинамічним режимом;
- за станом шару сорбенту;
- за організацією процесу;
- за організацією контакту взаємодіючих фаз;
- за способом підведення енергії.

Існують різні способи флотаційної обробки виробничих стічних вод [11].

Флотація з виділенням повітря з розчину (вакуумні, напірні і ерліфтні флотаційні установки). Суть методу полягає в створенні пересичення розчину повітря в стічній воді, при виділенні якого утворюються макроюульбашки, що дозволяють видаляти забруднення. Кількість повітря, що виділяється з розчину і необхідного для забезпечення ефективної флотації, становить 1-5% від обсягу оброблюваної води.

Вакуумна флотація використовується для очищення стічних вод, якщо концентрація забруднень в них не перевищує 250 мг/л. Спосіб характеризується досить низькими енерговитратами на проведення процесу флотації, а також високою стабільністю спливаючих агрегатів. Недоліками способу крім зазначеного вище обмеження по концентрації забруднень в стічних водах є досить висока складність створення і експлуатації вакуумних систем.

**Екстракція** – метод виборчого розчинення. Це процес розділення забруднюючих речовин у суміші двох нерозчинних рідин (екстрактивної речовини та стічних вод). Метод застосовується при високому (не менше 3 г/л) вмісті розчинених органічних речовин технічної цінності (феноли, олії, жирні кислоти) у стічних водах та для виділення важких кольорових металів. Як екстрагенти використовують вуглеводні, спирти, водні розчини неорганічних кислот і лугів та ін. Наприклад, для виділення фенолу стічну воду змішують з

бензолом (розчинником).

Процес протікає в такій послідовності [10]:

- в стічну воду вводять екстрагент;
- після досягнення рівноваги концентрація речовини в екстрагенті значно перевищує залишкову концентрацію у стічній воді;
- виробляють відділення і утилізацію забруднюючої речовини.

Екстрагент після цього знову використовується в технологічному процесі очищення. Для успішного протікання процесу екстракції екстрагент повинен мати такі властивості [10]:

- хорошу екстрагуючу здатність (високий коефіцієнт розподілу);
- селективність (здатність екстрагувати з води одну речовину або певну їх групу);
- малу розчинність в воді;
- щільність, значно відрізняється від щільності води;
- низький ступінь токсичності, вибухо- і пожежонебезпеки;
- низьку вартість і ін.

Для очищення стічних вод найбільш часто застосовують протиточні багатоступінчасті установки. В цих установках практично повністю використовується ємність екстрагента.

**Іонний обмін** є одним з основних способів пом'якшення, опріснення і знесолення вод, а також способом рекуперації розчинених іонних компонентів. Іонний обмін (іонообмінна сорбція) – процес обміну між іонами, що знаходяться в розчині, і іонами, присутніми на поверхні твердої фази (іоніту). Це витяг із стічних вод забруднень за допомогою іонітових фільтрів. Іоніти поділяються на природні та штучні (синтетичні). вони заповнюються синтетичною іоною смолою, цеолітами. Метод дозволяє отримувати від стічних вод цінні домішки, такі як сполуки миш'яку, фосфору, хром, ПАР, радіоактивні речовини, важкі кольорові метали. Метод застосовується для очищення стічних вод підприємств металургійної, хімічної, машинобудівної та інших галузей промисловості.

Найважливішою властивістю іонітів є їх поглинальна здатність. Характерною особливістю іонітів є їх оборотність, можливість проведення реакції в зворотному напрямку, що і лежить в основі їх регенерації. Розрізняють іонообмінні установки періодичної і безперервної дії. Установки періодичної дії – це різні іонітні фільтри і колони, а також пристрої для переміщення рідин (насоси), ємності для зберігання і контрольно-вимірювальна апаратура [14]. Так, мікроорганізми звільняють воду від забруднень [14] (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Промисловий фільтр для очищення води

Таким чином, ми розглянули основні фізико-хімічні методи очищення стічних вод. Дані методи використовують для очищення від розчинених домішок, а в деяких випадках і від зважених речовин.

### **3.4. Очистка промислових стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлотокоагуляції**

Електрохімічні методи очищення стічних вод (особливо стічних вод гальванічного виробництва) найпоширенішим є метод електрокоагуляції.

Цей метод застосовується на місцевих очисних спорудах, забруднених дрібно-дисперсними та колоїдними забруднювачами. Очищення проводиться від різних емульсій, масел, жирів, нафтопродуктів, сполук хрому та інших важких металів. Ефективність очищення така: з нафтопродуктів і масел 54-68%, з жирів – 92-99%. Пристрої електрокоагуляції мають потужність 50 м<sup>3</sup>год [2].

Метод електрокоагуляції поступається лише реагентному. Цей метод не вимагає дефіцитних реагентів і має багато переваг, таких як універсальність, відсутність додаткового забруднення солоною водою під час обробки, малий розмір установки, компактна установка та просте управління, відсутність необхідності реагентів, повна відсутність або спрощення управління реагентами, просте обслуговування обладнання, низька чутливість до змін умов процесу, отримання осаду з кращими структурно-механічними властивостями.

Електрокоагуляція в основному використовується для очищення нейтральних та слаболужних стічних вод. Застосування електрохімічних методів придатне для відносно високої електропровідності стічних вод через наявність неорганічних кислот, основ або солей (з мінімальною концентрацією солі 0,5 г/л). При низькій концентрації солі до стічних вод додають електроліти (зазвичай NaCl), що збільшує електропровідність стічних вод, зменшуючи тим самим витрати на електроенергію для очищення [2].

Цей спосіб очищення стічних вод складається з електролізу з використанням металевих (сталевих або алюмінієвих) анодів, які піддаються електролітичному розчиненню. В результаті розчинення анодів вода збагачується відповідними іонами, які потім сприяють утворенню в нейтральному або слаболужному середовищі гідроксиду алюмінію або гідроксиду заліза. В рамках їхньої роботи відбувається процес коагуляції вискодисперсних речовин у воді, подібно до обробки води відповідними солями

алюмінію або заліза.

Однак, на відміну від використання сольових коагулянтів, вода для електрокоагуляції не збагачується сульфатними та хлоридними іонами, вміст яких у очищеній воді обмежений як у разі скидання у водойми, так і при повторному використанні на промислових водогонах [17].

Під час електрокоагуляції стічних вод, що містять дрібно розподілені забруднювачі, відбуваються інші електрохімічні, фізико-хімічні та хімічні процеси: катодне відновлення розчинених у воді речовин, флотація твердих частинок та частинок, емульгованих газоподібним воднем, що виділяється на катоді. Крім того, іони та частинки розчинених забруднювачів, а також частинки, емульговані у забруднювачах води, що мають значну сорбційну здатність, сорбуються на поверхні гідроксиду алюмінію (заліза), особливо під час його утворення. Пластівці гідроксиду металу з сорбованими домішками стикаються з бульбашками газу, зливаються з ними і спливають на поверхню рідини. Деякі частинки домішок з лускатою структурою можуть коагулювати між собою, тим самим посилюючи ефект гетерокоагуляції всієї системи. Подальша затримка або флотація служить для відділення пластівців від сорбованих домішок [23].

Фактором, що обмежує використання електрокоагуляції, є збільшення вартості електроенергії, листів заліза та алюмінію. Отже, необхідність використання цього методу в будь-якому випадку має бути економічно виправданою.

На ефективність електрокоагуляції впливає: матеріал електродів, відстань між ними, швидкість потоку води між електродами, температура і склад води, напруга і щільність струму. Електрокоагуляцію рекомендується проводити у нейтральному або слабколужному середовищі за наступних умов: щільність струму не більше за  $10 \text{ А/м}^2$ , відстань між електродами – не більше за 20 мм, швидкість руху води не менше ніж 0,5 м/с [23].



### 3.4.1. Електрофлотокоагуляція

Попереднє введення коагулянтів у стічні води часто використовується під час електрофлотації. Це значно підвищує ефективність флотації.

Одночасне утворення пластівців і бульбашок газу в стислому міжелектродному просторі створює умови для надійного зв'язування бульбашок газу на пластівцях та інтенсивної коагуляції домішок, що забезпечує ефективність флотаційного процесу. Такі установки називаються електрокоагуляційно-флотаційними. При потужності до 10-15 тисяч. м<sup>3</sup>/год може бути однокамерною установкою з більшою ефективністю – двокамерною горизонтальною або вертикальною [2, 20].

Коагулянти можна вводити у вигляді відповідних солей або шляхом прокладки активного анода. Це означає, що організована попередня (перша) частина електрокоагуляції, в якій анод розчиняється і утворюються гідроокисні структури, які виконують функції коагуляції. У другій частині основний процес електрофлотації відбувається за рахунок бульбашок газу, що утворюються на графітових електродах. Третя частина розміщується, якщо необхідна подальша дезінфекція очищених стічних вод. У ній завдяки розташуванню електрода, збільшує поверхню контакту з водою і збільшує кількість утворюються бульбашок кисню, які діють як окислювач.

Метод електрофлотокоагуляції (ЕФК) дозволяє одночасно проводити два процеси – зміна дисперсійного стану забруднювачів в результаті їх коагуляції електричним полем – коагуляція та фіксація бульбашок електролітичного газу на поверхні частинок, які утворилися в результаті коагуляції, що забезпечує їх подальшу флотацію. Особливо ефективна процедура анодного (катодного) розчинення металевих електродів. Це пов'язано з тим, що коагулянтна активність електрогенерованих агентів набагато вища порівняно з коагулянтами, отриманими гідролізом солей металів [2,14].

Основними стадіями процесу ЕФК є генерація електролітичного коагулянту, генерація електролітичного газу, коагуляція домішок, закріплення

електролітичного газу на поверхні коагульованих домішок (утворення флотокомплексів) і спливання флотокомплексів.

У процесі ЕФК на поверхні води утворюється шар піни, який відокремлюється від поверхні механічними скребками, а потім піддається гасінню. Потім осад скидають у спеціальні фільтри, зневоднений мул видаляється для компостування, а супернатант направляється до "початку" очисної споруди для повторного очищення [2, 5].

Комбінований метод, що включає електрокоагуляцію та електрофлотацію (ЕФК), має великий відсоток видалення забруднюючих речовин зі стічних вод і є більш економічним з точки зору електрики та металевих електродів порівняно з електрокоагуляцією. Установка, для введення реагентів у очищену рідину, на установці ЕФК зникає. Піна, одержувана при електрокоагуляції має високу стійкість. Ефект очистки в ЕФК апаратах становить за жирами 96-97 %, за зваженими речовинами 90-92 %, за ХПК – 65 %, за БПКПОВН – 70-75%.

#### 3.4.2. Обробка стічних вод електрофлотацією

Електрофлотаційні пристрої використовуються для обробки невеликої кількості стічних вод та технологічних розчинів при гальванічному покритті при витраті не більше 20-40 м<sup>3</sup>/год з високим вмістом солі та низькою електропровідністю. У електрофлотації можуть використовуватися коагулянти та флокулянти, а також комбіновані схеми тиску та електрофлотації.

Електрофлотаційні пристрої також використовуються при очищенні поверхневих стічних вод промислових об'єктів з метою зниження концентрації нафтопродуктів та масел до фази фільтрації [2,8].

У флотаційних пристроях для флотаційного процесу використовують газоподібні продукти – водень і кисень, що виділяються на електродах під час електролізу очищеної води. В процесі електролізу води на катоді виділяється водень, а на аноді – кисень. Бульбашки водню відіграють головну роль у процесі

флотації частинок [2,14].

Суть цього методу очищення стічних вод полягає в перенесенні забруднюючих речовин з рідини на межу розділу фаз за допомогою бульбашок газу, що утворюються в результаті електролізу стічних вод. Бульбашки поступово ростуть на поверхні електродів, і коли вони досягають певного розміру, вони виходять. На виході вони стикаються з частинками забруднювачів і переносяться на поверхню розчину завдяки молекулярним та електростатичним силам, що сприяють їх сплавленню. Забруднювачі, присутні в розчині, які мають поверхнево-активні властивості, сприятимуть утворенню активних флотаційних комплексів і поверхневого шару піни.

Електрофлотація дозволяє видаляти зі стічних вод домішки, що перебувають у розчиненому стані, емульгованому і суспендованому виді, зважені речовини й колоїдні частки [2].

Ефективність електрофлотації багато в чому залежить від кількості та розміру бульбашок газу. Бульбашки, що утворюються на катоді, відіграють тут головну роль. Розміри бульбашок водню набагато менші, ніж при інших методах флотації. Діаметр бульбашок може становити від 20 до 100 мкм. Менші бульбашки мають більшу розчинність. Крім того, вони потрапляють безпосередньо на поверхню забруднюючих речовин, сприяючи тим самим флотаційному ефекту.

Електрофлотаційний метод має ряд переваг перед іншими флотаційними методами: простота впровадження та обслуговування обладнання, можливість регулювання ступеня очищення стічних вод залежно від стану фазово-дисперсних забруднювачів, висока дисперсія бульбашок газу, що забезпечує ефективність їх взаємодії з забруднювачами.

При витраті стоків до 10-15 м<sup>3</sup>/год флотоустановки однокамерні, а при більшій - двокамерні горизонтального або вертикального типу [2,15].

Розрахунок установок для електрофлотації зводиться до визначення загального обсягу установки, обсягів електродного відділення й камери флотації.

### 3.5. Методи очищення стічних вод від колоїдних часток в м. Києві

В даний час в усьому світі особлива увага приділяється розробці і впровадженню ефективних ресурсозберігаючих технологій. До таких технологій відноситься розглянутий в роботі метод інтенсифікації процесів глибокого очищення природних і стічних вод з застосуванням концентрованого коагулювання коагулянтами. Використання запропонованого методу дозволяє підвищити ефективність роботи водоочисних споруд систем водопостачання, забезпечити зменшення вмісту забруднюючих речовин в очищеній воді, зменшити ризик захворюваності населення. У цьому розділі розглянуто вплив розподілу потоків води, що очищається між основним і байпасним каналами при концентрованому коагулюванні для підвищення якості очищення води і, як наслідок цього, підвищення екологічної безпеки використовуваної води

Рекомендації щодо вдосконалення технологічної схеми:

- В процесі очищення змінити спосіб подачі розчину коагулянту шляхом застосування методу концентрованого коагулювання.
- Передбачити поділ потоку води, що очищається на два канали: основний і байпасний.
- Розподіл потоків між основними і байпасним каналами приймати рівним 80: 20.
- Для збільшення швидкості гідролізу пропонується подавати коагулянт в байпасний канал (ежектор-змішувач). Таким чином, підвищення концентрації коагулянту в потоці дозволить збільшити швидкість гідролізу. це зменшить «прослизання» з'єднань алюмінію в освітлену воду.
- Дозу коагулянту приймати рівною з огляду на дані про каламутності і кольоровості води, що очищається.
- Для збільшення рН в межміцеллярном просторі і зниження ефекту Паллмана необхідно в технологічній схемі перед відстійниками додатково вводити вапняне молоко (в періоди паводків).

Дотримання наведених рекомендацій дозволить підвищити екологічну

безпеку використовуваної води з мінімальними витратами, тому що не вимагають кардинальної реконструкції діючих очисних споруд.

Критеріями оцінки технологічної схеми очищення стічних вод є наступні показники:

- критерії якості очищення стічних вод;
- мінімізація кількості та розмірів;
- мінімізація нового обладнання;
- мінімізація СМР на модернізацію.

Концепцією технології очищення є наступна:

- реалізація ефективної попереднього очищення – підготовка стічних вод до біологічної очистки;
- багатоступенева біологічна очистка з реалізацією технології нітріденітрифікації;
- поділ мулової суміші за допомогою мембранних біореакторів;
- зворотній осмос;
- утилізація мінеральних залишків зворотного осмосу шляхом накопичення в шламонакопичувачі або випарювання [14].

НП ТОВ «ЕКОФЛОК» виробляє флотаційні установки для фізико-хімічного очищення промислових стоків продуктивністю від 1 до 30 м<sup>3</sup>/год, з н/ж сталі або хімістійкого поліпропілену (рис. 3.5). Можливо виготовлення та розробка флотаційних установок більшої продуктивності або згідно додаткових вимог замовника (вибухозахист і т.п.) і технологічних процесів (видобуток каротину з солоної води і т.д.).

Установки для флотації слід використовувати для видалення нерозчинених речовин, ПАР, нафтопродуктів, жирів, волокон, кольорових частинок та інших речовин, осадження яких неефективне.

Перевагами флотації є високий ступінь очищення (95-98%), безперервність процесу, широкий спектр застосування, низькі інвестиційні та експлуатаційні витрати, простота обладнання, вибірковість забруднюючих речовин у порівнянні

із відстоюванням від більш високих швидкостей процесу та можливість отримання шламу (пінного продукту). Флотація використовується для вирішення екологічних проблем, особливо в процесах очищення стічних вод, що містять гідрофобні забруднювачі. Застосування флотаційних пристроїв з різними методами аерації обумовлено наявністю частинок з чітко визначеними гідрофобними властивостями у стічних водах. Гідрофобні (злегка змочені водою) частинки вибірково фіксуються на межі розділу, як правило, газ і вода, і відокремлюються від гідрофільних (добре змочених водою) частинок.

При флотації пухирці газу або краплі масла прилипають до часток, погано змочуваних водою, і піднімають їх до поверхні.



Рис. 3.5. Флотаційні установки

Процес флотаційного очищення заснований на утворенні комплексів «бульбашки-частинки», утворенні цих комплексів та видаленні шару піни з

обробленої поверхні води. Адгезія частинок до рідини можлива, якщо немає змочування або поганого змочування частинки рідиною. У разі флотації велике значення мають розмір, кількість та рівномірність розподілу бульбашок повітря в очищених стічних водах. Цей метод характеризується простою апаратною конструкцією процесу та відносно низьким енергоспоживанням. Використання для очищення води активованого розчину коагулянту дозволяє збільшити гідравлічну крупність коагулюючої суспензії і тим самим - інтенсивність відстоювання стічних вод при їх очищенні. При обробці води активованим розчином коагулянту збільшується гідравлічна крупність суспензії, що призводить до більш швидкого освітлення води в відстійнику [5, 19, 25].

При зменшенні вмісту завислих речовин до 25-50 мг/дм<sup>3</sup> ефективність використання розчину коагулянту також зменшується: при каламутності 25 мг/дм<sup>3</sup> зважені речовини з гідравлічною крупністю 0,2 мм/с видаляються на 23,1%, а 1,2 мм/с – 10,2%; при каламутності 50 мг/дм<sup>3</sup> відповідно 26,2% і 12,5%; 100 мг/дм<sup>3</sup> – 41,6% і 24,1%.

Таким чином, ефективність впливу активованого розчину коагулянту на гідравлічну крупність підвищується зі зменшенням останньої, що підтверджується проведеними дослідженнями для всього діапазону обробленої води. Кількість випала суспензії в стічній воді, обробленій активованим розчином коагулянту, значно вище ніж при звичайній коагуляції. Так, суспензія розміром 0,2 мм/с при використанні активованого розчину коагулянту видаляється на 91,1%, при звичайному – на 67,8%. Зі збільшенням гідравлічної крупності коагулюючої суспензії ефективність видалення суспензії трохи знижується: найбільшу кількість суспензії при обробці води активованим розчином коагулянту досягається при гідравлічній крупності 0,2 мм/с, а найменше – при 1,2 мм/с [24].

При температурі 293 К збільшення основності призводило до зростання розмірів і швидкості седиментації агрегатів. Дані, отримані різними методами, узгоджуються між собою: чим вище розраховані за даними лазерної дифракції значення швидкості седиментації агрегатів, тим швидше зменшувалася

каламутність дисперсій гідроксиду в часі, певна фотометричним методом [1, 14].

Оскільки при температурах 293-303 К параметри агрегатів корелюють з величиною основності коагулянту, можна припустити, що в цьому діапазоні збільшення основності і змісту поліядерних гідросокомплексів в коагулянтів сприяє формуванню більших агрегатів, що володіють високою швидкістю седиментації. У виробничих умовах це повинно приводити до збільшення швидкості утворення осаду і його відділення від освітленої води.

При температурах 275-280 К найбільшою ефективністю мали коагулянти з проміжною величиною відносної основності 67-73%. Це пояснюється меншим вмістом в їх складі поліядерних гідросокомплексів в порівнянні з високоосновних полігідроксохлорідами. У цьому випадку в результаті гідролізу утворюються менші первинні колоїдні частинки, що володіють більш високою швидкістю агрегації на початкових етапах процесу коагуляції [1].

Використання композиційних реагентів дозволяє збільшити швидкість седиментації коагуляційних агрегатів і ступінь очищення щодо їх водних аналогів (попередньо розчинених або суспендованих реагентів), спростити процес очищення (зменшити кількість технологічних стадій введення реагентів з 2-3 до 1, а також зменшити кількість введеного коагулянту в 1,2-1,5 рази [5, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 22]. Показано, що при введенні сульфату алюмінію в модельні дисперсії каоліну і гумінових сполук утворюються агрегати з фрактальною розмірністю 2,12-2,32, що свідчить про низьку щільності упаковки частинок і про відкриту гіллястої структурі агрегатів.

В разі використання пентагідроксохлорида відбувається утворення щільних і компактних агрегатів, на що вказує більш високе значення фрактальної розмірності 2,32-2,59. Це дозволило пояснити підвищення швидкості седиментації агрегатів і зниження каламутності і кольоровості модельних дисперсій в разі використання пентагідроксохлорида в порівнянні з сульфатом алюмінію [3, 4, 10].

Розроблено новий коагуляційно-адсорбційний спосіб очищення природних і стічних вод складного складу, що включає стадії регулювання рН,



окислення перманганатом калію, обробки за допомогою композиційного реагенту, відділення осаду, сорбції та фільтрації, застосування якого дозволяє видаляти пестициди з ефективністю 99,6–100%.

Отже, обробка дренажних вод полігонів ТПВ активованим розчином коагулянту сприяє підвищенню гідравлічної крупності коагулянтів зважених речовин, при цьому збільшується кількість суспензії, осідає з різною гідравлічною крупністю, що в підсумку інтенсифікує процес очищення води.

### **3.6. Висновки до розділу**

Описано основні підходи та обладнання для очищення стічних вод. В даний час вимоги до ступеня очищення стічних вод зростають. У зв'язку з цим вони піддаються подальшому глибшому очищенню. Процес очищення також включає обробку мулу з очисних споруд та дезінфекцію стічних вод перед скиданням у резервуар. Для очищення промислових стічних вод використовуються радіальні відстійники, в яких поєднуються процеси відстоювання та усереднення стічних вод до концентрації забруднюючих речовин. Решітки використовуються для фільтрації стічних вод. Відстійник є основною структурою механічного очищення стічних вод. Відстійники використовуються для утримання нерозчинених органічних забруднювачів. Промислові стічні води, що містять забруднення, щільність яких нижча за щільність води, забруднювачі, які спливають на поверхню (оливи, смоли, оливи) також обробляються відстоюванням у нафтових, смоляних та масляних уловлювачах.

Охарактеризовано особливості фізико-хімічної очистки стічних вод. Фізико-хімічна очистка стічних вод включає безліч методів, які можна застосовувати як окремо, так і в поєднанні з механічними, біологічними та хімічними методами. Коагуляція (реагентний метод) – дестабілізація колоїдних систем забруднень. Сорбція – це процес поглинання речовини з навколишнього середовища твердим тілом або рідиною. Адсорбцію здійснюють наступними

способами: до стічної води додають сорбент в подрібненому вигляді, отриману суміш перемішують, потім відстоюють і фільтрують; стічні води безперервно пропускають через фільтр, завантажений сорбентом. Флотація – процес молекулярного прилипання частинок флотируючого матеріалу до поверхні розділу двох фаз, зазвичай повітря і рідини. Екстракція – метод виборчого розчинення. Це процес поділу домішок в суміші двох нерозчинних рідин. Іонний обмін є одним з основних способів пом'якшення, опріснення і знесолення вод, а також способом рекуперації розчинених іонних компонентів.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 4.1. Гігієна праці та виробнича санітарія на хімічному підприємстві

Хімічне виробництво відноситься до галузей промисловості, які становлять підвищену потенційну небезпеку професійних отруєнь і захворювань працюючих. Причиною є те, що в процесі праці багато працюючих стикаються з хімічними речовинами, що мають ті чи інші токсичні властивості [42].

Під дією токсичних речовин в організмі можуть відбуватися різні порушення у вигляді: гострих отруєнь; хронічних отруєнь.

Гострі отруєння (ГО) виникають при впливі великих доз шкідливих речовин протягом не більше однієї зміни й залежать від цілком усунених причин, які, як правило, пов'язані з організацією виробництва, з дисципліною. Усунення таких причин не вимагає особливих капітальних витрат.

Хронічні отруєння (ХО) виникають в результаті тривалого поступового впливу на працюючих невеликих кількостей шкідливих речовин. У кінцевому підсумку може наступити професійне захворювання, що вимагає відповідного розслідування. Боротися з ХО значно важче, ніж з ГО.

Досягнення нешкідливих концентрацій токсичних речовин в повітрі робочих приміщень, як правило, пов'язане з удосконаленням або заміною технологічних процесів, апаратури, будівель, споруд. Ці заходи потребують великих капітальних витрат.

При будь-якій формі отруєння (ГО або ХО) характер дії промислової отрути визначається ступенем її фізіологічної активності – токсичністю. Токсичність – це здатність речовин шкідливо впливати на життєдіяльність організму. Токсичні речовини (отрути) – це такі речовини, які проникають в організм людини різними шляхами, вступають у з'єднання з його тканинами, порушуючи їх нормальну діяльність.

Небезпека отруєння залежить від [40]: 1) фізико-хімічних властивостей речовини; 2) розчинності в біологічних середовищах; 3) дисперсності (подрібнення, розчинності, летючості, агрегатного стану); 4) часу впливу; 5) концентрації. Також на ступінь отруєння впливають фізіологічні особливості організму людини.

Сприйнятливість людини до впливу токсичних речовин підвищується: 1) в результаті підвищення температури тіла людини; 2) за наявності підвищеної ваги (ожиріння, набряки). Токсичність промислових отрут характеризується значеннями гранично допустимої концентрації (ГДК).

За токсичним впливом на організм людини та за зовнішніми ознаками отруєнь токсичні отрути класифікуються і умовно поділяються на 9 груп наступним чином: 1) нервові (вуглеводні, спирти, сірководень, тетраетилсвинець), які викликають розлад функцій нервової системи, м'язові судоми, паралічі; 2) подразнюючі (хлор, аміак, двоокис сірки, оксид азоту), які дратують верхні і глибокі дихальні шляхи; 3) припалюючи й подразнюючі (неорганічні кислоти, луги), які вражають шкірний покрив з утворенням наривів, виразок; 4) ферментні (синильна кислота і її солі, миш'як та його сполуки, солі ртуті), які порушують структуру ферментів, руйнують їх; 5) кров'яні (окис вуглецю, ароматичні смоли, свинець і його неорганічні солі), які взаємодіють з гемоглобіном крові; 6) печінкові (хлоровані вуглеводні, фосфор, селен), які викликають структурні зміни тканин печінки; 7) мутагенні (окис етилену, сполуки свинцю, ртуті), які впливають на генетичний апарат клітини; 8) алергени (деякі сполуки нікелю), які викликають зміни в реактивній здібності людини; 9) канцерогени (кам'яновугільна смола, бенз(а)пірен), які викликають утворення злоякісних пухлин.

При місцевому впливі хімічно активних речовин на шкіру, дихальні шляхи та очі у працівників виникають хімічні опіки. Ступінь опіку залежить від: 1) хімічної активності і токсичності речовин; 2) концентрації; 3) температури; 4) часу впливу; 5) індивідуальної чутливості шкіри.

Опіки поділяються на 4 ступеня: I – почервоніння, припухлість, болючість;

II – поява бульбашок, можливі наступні захворювання шкіри; III – виникають ділянки омертвіння тканин; IV – поразка не тільки всієї поверхні шкіри, але і глибоко лежачих тканин і органів.

Хімічні опіки можуть викликати такі речовини: соляна, сірчана, азотна кислоти, концентровані розчини лугів (їдкий натр, калій, аміак), причому лужні опіки глибші, тому що вони легко обмилюють жировий шар шкіри і розчиняють білкові речовини.

При опіках хімічними речовинами, здатними прилипати до шкіри (гарячі смоли, жовтий фосфор), виникає також небезпека отруєння всього організму.

Заходами безпеки є [41]: 1) робота у відповідному спецодязі; 2) захисні окуляри; 3) установка кранів і фонтанчиків для швидкого промивання ураженого місця рясним струменем чистої води; 4) при відсутності водопроводу – установка ємності з водою.

Заходи з надання першої допомоги: 1) промити уражену ділянку великою кількістю води; 2) при опіках сполуками фосфору ватним тампоном зняти зі шкіри залишки цих речовин, а потім промити 5% розчином соди або марганцево-кислого калію.

Засоби індивідуального захисту. У хімічній промисловості проведення низки технологічних і допоміжних операцій пов'язано з застосуванням засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Для виконання робіт всередині закритих ємностей, в колодязях і т.п. місцях їх застосування має вирішальне значення для забезпечення безпеки праці. Засобами індивідуального захисту є: спецодяг; спецвзуття; головні убори; каски; шоломи; рукавички, рукавиці; фартухи; протигази; респіратори; захисні окуляри; маски; світло-фільтри; протишумні пристрої; запобіжні пояси; електрозахисні засоби; пасти, мазі.

ЗІЗ можуть бути постійного користування (без цих засобів робочому забороняється перебувати на робочому місці) та аварійного користування.

Аварійні ЗІЗ створюються у виробництвах, де є токсичні, пожежо- і вибухонебезпечні продукти. Їх розташовують у доступних для користування місцях, які визначають керівники виробництв і цехів за погодженням з

газорятувальної і протипожежної службами. Щорічно на кожному підприємстві хімічної промисловості складається перелік спецодягу, спецвзуття та запобіжних пристроїв, що підлягають безкоштовній видачі робітникам і службовцям для забезпечення безпечних умов роботи. У переліку вказується кількість і види засобів захисту для індивідуального, колективного та аварійного користування. Перелік узгоджується з комітетом профспілки, і після затвердження головним інженером цього переліку стає основним документом для забезпечення персоналу ЗІЗ.

У всіх випадках, коли в повітрі робочої зони вміст шкідливих речовин перевищує ГДК або коли вміст кисню менше 17%, необхідно застосовувати ЗІЗ органів дихання від отруєння та задухи. Засобами захисту органів дихання є: протигази промислові фільтруючі; фільтруючі респіратори; шлангові протигази.

В якості захисного засобу від механічного травмування голови, а також ураження голови електричним струмом застосовуються різні каски. Існує перелік професій, посад і робіт, де робітники та інженерно-технічний персонал повинні обов'язково носити захисні каски.

Захист рук здійснюється різними видами рукавиць і рукавичок в залежності від робочого середовища: від термічних опіків, кислотозахисними, віброзахисними. Там, де неможливе застосування рукавичок (роботи, що вимагають великої чутливості пальців), а також при роботах з клеями, фарбами, застосовуються пасти і мазі.

Для захисту очей застосовують захисні окуляри, щитки й маски. Захисні окуляри випускаються двох типів: окуляри захисні відкриті – ОЗВ, окуляри захисні закриті – ОЗЗ. ОЗВ зручні тим, що мають широке поле зору, не запотівають. Вони захищають тільки від частинок, що летять прямо в очі.

ОЗЗ краще захищають очі, але звужують поле зору і пітніють. Для усунення запотівання застосовують спеціальні олівці, сухе туалетне мило або спеціальні вкладиші з незапотіваючої плівки.

## 4.2. Безпека праці в хімічних лабораторіях

Роботи в хімічних лабораторіях повинні виконуватися з урахуванням вимог НПАОП 73.1-1.06-77 «Основні правила безпечної роботи в хімічних лабораторіях» [25].

Всі роботи, пов'язані з виділенням шкідливих парів чи газів, повинні проводитися під витяжними шафами. Забороняється проводити такі роботи при несправній або не увімкнутій вентиляції. Категорично забороняється зберігання будь-яких реактивів без етикеток з назвами речовин. Неприпустимо захащувати коридори і проходи в лабораторіях, а також підходи до засобів пожежогасіння. Забороняється зберігати і приймати в хімічній лабораторії їжу.

При роботі у вечірній і нічний час в лабораторіях повинні знаходитися не менше двох осіб, при цьому одна з них призначається головною.

Співробітники, що приступають до нового виду вогнебезпечної або вибухонебезпечної роботи, повинні отримати попередній інструктаж з техніки безпеки (ТБ), охорони праці (ОП) та пожежної безпеки (ПБ) від свого керівника.

Особливі вимоги пред'являються до зберігання речовин. Загальний запас одночасно зберігаючихся в кожному приміщенні вогнебезпечних рідин не повинен перевищувати одnodенної потреби. Основний запас цих речовин має зберігатися на спеціальних складах. Неприпустимо зберігання горючих рідин у поліетиленовому посуді.

Отруйні сильнодіючі речовини такі як миш'як та його сполуки, синильна кислота і її солі та інші повинні зберігатися в спеціально відведеному місці в опломбованій шафі або в залізному ящику під замком. Судини з отруйними речовинами повинні мати яскраві етикетки з чітким написом "Отрута!" і назвою речовини. Відповідальність за зберігання, облік і витрачання сильнодіючих отруйних речовин (СДОР) покладається на особу, призначену наказом по підприємству (установі, організації).

#### **4.3. Безпечне поводження з хімічними речовинами та рекомендації щодо їх зберігання**

Хімічні речовини, що зберігаються, повинні періодично оглядатися. Хімічні речовини з простроченими термінами зберігання або ті, що знаходяться в невідповідних або негерметичних контейнерах, повинні бути безпечно видалені. Повинна використовуватися система зберігання запасів. Зберігання небезпечних речовин повинно контролюватися компетентною й спеціально навченою особою. Всі робітники, яким потрібно бувати в складських приміщеннях, повинні знати правила безпечного порядку роботи, а співробітник з служби ОП підприємства має періодично оглядати всі площі зберігання. Пожежна команда повинна бути розташована всередині чи поблизу складських приміщень.

Рекомендується не працювати в складських приміщеннях, що містять отруйні речовини, без лаборанта або помічника. Площі зберігання хімічних речовин повинні бути розташовані далеко від технологічних площ, заповнених будівель та інших приміщень. Крім того, вони не повинні знаходитися поблизу від встановлених джерел загоряння.

Вимоги до маркування та повторної маркування хімічних речовин наступні. Резервуари та контейнери мають бути позначені за допомогою знаків, що вказують назву хімічного виробу. Жоден контейнер або циліндр із стисненими газами не повинен бути прийнятий без наступних розпізнавальних позначень: 1) визначення змісту; 2) опис основної небезпеки (наприклад, займиста рідина); 3) запобіжні заходи для зведення до мінімуму небезпек і запобігання аварій; 4) правильні дії з надання першої невідкладної допомоги; 5) правильні процедури з очищення від тих речовин, викиди яких мали місце; 6) спеціальні інструкції медичному персоналу на випадок аварії.

Етикетка може також пропонувати запобіжні заходи для правильного зберігання такі як “Зберігати в прохолодному місці” або “Зберігати контейнер сухим”. Коли деякі небезпечні вироби поставляються в танкерах, бочках або



мішках і повторно упаковуються на робочому місці, кожен новий контейнер повинен бути повторно позначений з тим, щоб користувач міг негайно визначити хімічну речовину і розпізнати ризики.

Отруйні хімічні речовини повинні зберігатися в прохолодному, добре вентильованому місці, без контактів з кислотами, високою температурою, вологістю. Летючі суміші повинні зберігатися в морозильниках, вільних від іскор запалювання, щоб уникнути випаровування. Так як в контейнерах може виникнути витік, то складські приміщення повинні бути обладнані вихлопними коробами або еквівалентними вентиляційними приладами. Відкриті контейнери повинні бути скріплені стрічкою або іншим ущільнювальним матеріалом. Речовини, які можуть реагувати хімічно один з одним, повинні зберігатися на окремих складах.

#### **4.4. Пожежна профілактика**

У звичайних умовах горіння являє собою процес окислення або з'єднання горючої речовини з киснем повітря, що супроводжується виділенням тепла і світла. Однак деякі речовини, наприклад, стиснений ацетилен, озон, вибухові речовини, можуть вибухати і без кисню повітря з утворенням тепла та полум'я, тобто горіння може бути не тільки реакцією окислення, але і розкладання. Відомо також, що водень й деякі метали можуть горіти в атмосфері хлору, мідь – у парах сірки, магній – в двоокису вуглецю.

Також пожежонебезпечними є горючі речовини в пилоподібному стані. Осілий на обладнанні або виступаючих частинах конструкцій будівель пил може тліти й горіти. Зважений пил (аерозоль) здатний утворювати вибухонебезпечну суміш. Будь-який пил адсорбує газу, і, в тому числі, складові повітря. З часом в шарі повітря, адсорбованому порошинами, підвищується вміст кисню, що полегшує процес окислення і займання пилу. Швидкість реакції горіння зростає

із збільшенням питомої поверхні пилу. Тому при визначенні ступеня небезпеки пилу, що знаходиться у виробничому приміщенні, в першу чергу, необхідно враховувати здатність пилу утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, а також чутливість таких сумішей до різних джерел займання.

Нижні концентраційні межі запалення пилоповітряних сумішей на хімічних підприємствах коливаються для більшості речовин від  $2,5 \text{ г/м}^3$  до  $30 \text{ г/м}^3$ . Високі концентрації пилу можуть спостерігатися тільки всередині хімічних апаратів або в дуже сильно запиленому приміщенні. Для запобігання вибуху пилоповітряних сумішей або зменшення руйнуючої дії такого вибуху на апаратах (бункерах, млинах, сепараторах) встановлюються розривні мембрани, а також пристрої для подачі в пилепроводи інертних газів (двоокису вуглецю або водяної пари) [42].

Тверді речовини, особливо вугілля, здатні на своїй поверхні адсорбувати повітря. У пористу речовину при сильно розвинутій поверхні в адсорбованому шарі повітря, збагаченого киснем, швидкість окислювальної реакції сильно зростає. Якщо тепловіддача в навколишнє середовище порівняно мала, то в цій речовині різко підвищується температура, і окислювальний процес сильно прискорюється.

Самозайманням називається явище різкого збільшення швидкості екзотермічних реакцій, що призводять до виникнення горіння речовини при відсутності джерел запалювання. Чим нижче температура, при якій починається процес самозаймання, тим речовина більш небезпечна. Такі процеси можуть починатися вже при температурах  $10-20^\circ\text{C}$ .

Речовини, схильні до самозаймання, діляться на 4 групи: I – речовини рослинного походження (часто це недосушені продукти рослинництва (сіно, солома), в яких при температурі  $60-70^\circ\text{C}$  відбуваються біологічні процеси, що переходять в хімічні процеси окислення, які закінчуються самозаймання); II – торф і копалини вугілля; III – мастила і жири (найбільш небезпечне ляна олія. Особливу небезпеку представляють тканини (спецодяг), обтиральні матеріали, на які потрапили рослинні олії. Через великі поверхні волокон тканини, на якій

тонким шаром розподілено мастило, різко прискорюється реакція окислення, що супроводжується виділенням тепла. Через малу теплопровідність тканин процес нагрівання починається вже при 10–15°C і через 3–4 години може закінчитися самозаймання.); IV – хімічні речовини і суміші, які, в свою чергу, діляться на 3 підгрупи: а) речовини, займисті при зіткненні з повітрям (білий фосфор, цинкова і алюмінієва пудра, деревне вугілля); б) речовини, займисті при зіткненні з водою (лужні метали, карбід кальцію та ін., при їх взаємодії з водою утворюються горючі газы, самозаймисті за рахунок теплоти реакції); в) окислювачі, що викликають запалення при змішуванні з ними органічних речовин (кисень, азотна кислота, марганцево-кислий калій, селітра, хлорне вапно).

#### **4.5. Висновки до розділу**

Таким чином можна стверджувати, що в приміщеннях лабораторій будь-яких досліджень, на робочому місці на працівників впливає велика кількість шкідливих та небезпечних факторів. В наслідок чого, це не дає змоги пов'язати погіршення стану здоров'я людини, під час виконання трудових обов'язків саме з впливом відповідних шкідливих факторів: - позбавляє працівника соціальних гарантій, а також конституційних прав на безпеку та охорону праці;- призводить до великих економічних збитків в цілому на підприємстві.

Хімічне виробництво відноситься до галузей промисловості, які становлять підвищену потенційну небезпеку професійних отруєнь і захворювань працюючих. Причиною є те, що в процесі праці багато працюючих стикаються з хімічними речовинами, що мають ті чи інші токсичні властивості. Також, повинна використовуватися система зберігання запасів. Зберігання небезпечних речовин повинно контролюватися компетентною й спеціально навченою особою. Всі робітники, яким потрібно бувати в складських приміщеннях, повинні знати правила безпечного порядку роботи, а співробітник з служби ОП підприємства має періодично оглядати всі площі зберігання.

Щодо пожежної безпеки, в лабораторіях стіни мають бути з вогнестійких матеріалів та поверхню можна було легко змивати. На видному місці біля робочих місць потрібно вивішують інструкції з охорони праці та пожежної безпеки. Звичайно інструкції у лабораторіях мають бути чітко сформовано щодо заходів пожежної безпеки та поширюватися на всі її приміщення. Інструкції встановлюються до вимог пожежної безпеки, прописано порядок дій у разі пожеж та є важливими для їх вивчення та виконання всіма особами, працівниками, які перебувають у лабораторіях.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено та визначені джерела забруднення стічних вод. Промислові стічні води утворюються в результаті використання води в різних технологічних процесах. Наступні фактори визначають їх кількість, склад і концентрацію домішок: вид промислового виробництва та характер технологічного процесу, склад сировини та продуктів, склад прісної води, методи технологічних процесів. Побутові стічні води утворюються під час роботи у ванній, душі, пральні та їдальні. Відмінною особливістю господарсько-побутових вод є відносна сталість їх складу і висока ступінь забрудненості. Атмосферні (зливові) стічні води утворюються в результаті змивання забруднюючих речовин, що накопичуються на території промислових підприємств. Характерною особливістю стоку дощової води є епізодичний характер та значний нерівномірний потік і концентрація забруднюючих речовин. Поверхневий стік в основному містить мінеральні забруднення – тверді (зважені) частинки, а також нафтопродукти. Дощова вода промислових заводів може містити специфічні забруднювачі, специфічні для конкретного виробництва. Включені сучасні методи очищення стічних вод. Для очищення побутових та промислових стічних вод застосовуються різні методи. Метод очищення і склад очисних споруд вибирають залежно від необхідного ступеня очищення, складу забруднень, пропускної здатності очисної станції, ґрунтових умов і потужності водного об'єкта з відповідним техніко-економічним обґрунтуванням.

2. Визначено, що аналіз викладеного призводить до сумного висновку про те, що сьогодні в Україні не тільки незадовільно працюють очисні споруди комунальних підприємств, а й відсутня можливість коректної оцінки ступеня забруднень стічних вод, що надходять у відкриті водойми, в тому числі в р. Дніпро, з водного басейну якої здійснюється 77% водозабору комунальними підприємствами країни. Як правило, стічні води скидаються в каналізаційну мережу населеного пункту, що передбачає значні фінансові витрати, а також

дотримання нормативних вимог. Так, в Києві дозволяється скидати стічні води при ГПК 500 мг О/дм<sup>3</sup>. Дисперсні системи – утворення з двох або більшого числа фаз з сильно розвиненою поверхнею розділу між ними. У дисперсній системі принаймні одна з фаз розподілена у вигляді дрібних частинок в іншій, суцільній, фазі. Дисперсні системи, що складаються з якоїсь речовини в високого ступеня подрібнення (дисперсної фази), рівномірно розподіленої в масі основної речовини (дисперсійному середовищі), часто зустрічаються в природі і широко використовуються в сучасних технологічних процесах. Скорочення часу коагуляції досягається додаванням заму́тнювачів. Частинок розміром до 3 мкм прискорюють процес утворення пластівців на 30-50%. Як штучні заму́тнювачів застосовують порошкоподібний активоване вугілля або глинистий суспензія. Прискорити процес формування пластівців і заощадити 25-30% коагулянту можна введенням шламів – промивної води фільтрів і осаду відстійників. Рекомендується починати з введення 5-25% промивної води від обсягу вихідної, а потім додавати коагулянт. У сучасній практиці для порушення агрегативної стійкості колоїдних домішок застосовують: неорганічні коагулянти; органічні поліелектроліти або флокулянти. Найчастіше в якості неорганічних коагулянтів застосовують солі слабких основ і сильних кислот: сульфат  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , хлорид  $\text{AlCl}_3$ , оксихлорид  $\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}$  алюмінію, сульфати і хлориди заліза (II) і (III), алюмінат натрію  $\text{NaAlO}_2$ . Їх суміші в різних процентних співвідношеннях порушують стійкість колоїдного розчину, використовуючи принцип катіонного обміну. Ефективність коагуляції води підвищується при зростанні валентності катіона. Описано основні підходи та прилади для очищення стічних вод. В даний час вимоги до ступеня очищення стічних вод підвищуються. У зв'язку з цим їх піддають додатковій більш глибокому очищенню (доочищення). В процесі очищення передбачають також обробку осадів стічних вод і знезараження стічних вод перед скиданням у водойму. При очищенні виробничих стічних вод застосовуються радіальні відстійники, в яких поєднані процеси відстоювання і усереднення стічної води по концентрації забруднень. Для проціджування стічних вод застосовують решітки. Вони затримують грубі домішки розміром 5 і

більше мм (великі, нерозчинені, плаваючі забруднення). Відстійник є основною спорудою механічного очищення стічних вод. Відстійники застосовуються для затримування нерозчинених органічних забруднень. Виробничі стічні води, що містять домішки з щільністю менше щільності води, спливаючі домішки (нафта, смоли, масла, жири та інші їм подібні), очищають також відстоюванням в нафтоуловлювачі, смоло- і маслоуловлювачі. Гідроциклони – апарати для освітлення виробничих стічних вод (для розділення суспензій).

3. Охарактеризовано особливості фізико-хімічної очистки стічних вод. Фізико-хімічне очищення стічних вод включає безліч різних способів, які можуть використовуватися як самостійно, так і в поєднанні з механічними, біологічними та хімічними методами очищення. Коагуляція (реагентний метод) – дестабілізація колоїдних систем забруднень. Сорбція – це процес поглинання речовини з навколишнього середовища твердим тілом або рідиною. Адсорбцію здійснюють наступними способами: до стічної води додають сорбент в подрібненому вигляді, отриману суміш перемішують, потім відстоюють і фільтрують; стічні води безперервно пропускають через фільтр, завантажений сорбентом. Флотація – процес молекулярного прилипання частинок флотуючого матеріалу до поверхні розділу двох фаз, зазвичай повітря і рідини. Екстракція – метод виборчого розчинення. Це процес поділу домішок в суміші двох нерозчинних рідин. Іонний обмін є одним з основних способів пом'якшення, опріснення і знесолення вод, а також способом рекуперації розчинених іонних компонентів. Електроліз полягає в тому, що пропускають струм через занурені у воді електроди, підсилюють розчинення матеріалу електродів і утворення згустків коагулята, що сприяє осаду забруднень. Кристалізація ґрунтується на утворенні кристалів забруднюючих речовин внаслідок природного або штучного прискореного випаровування рідини. Деструктивне очищення стічних вод – це окислення органічних речовин, що містяться в стічних водах. Окислення та мінералізація органічних забруднювачів в результаті аеробних біохімічних процесів є суттю біохімічного методу очищення стічних вод. Метод біологічного очищення стічних вод заснований на здатності мікроорганізмів використовувати

різні речовини, що містяться в стічних водах, як джерело їжі в процесі життєдіяльності. Так, мікроорганізми відділяють воду від забруднюючих речовин.

4. Спрогнозовано, що для оптимізації проблемної ситуації, що склалася із системою водоочиски міста, необхідно розробляти та впроваджувати спеціальні технічні, екологічні та економічні проекти, залучаючи українських та закордонних фахівців.



## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Програма навчальної дисципліни та робоча програма дисципліни «Особливості водопостачання і водовідведення різних промислових підприємств»(для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.06010108,(7.092601)-«Водопостачання та водовідведення»). – 2008. 96 с.
2. Бон О. Р., Коновальчик М. В. Підвищення ефективності очищення вод від завислих речовин за рахунок використання сучасних технологій. – 2010. 74 с.
3. Водний кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст.189. Внесення змін (закон від 20.09.2019 N 124-IX /124-20/)
4. Вергун А. П., Мышкин В.Ф., Власов А. В. Ионнообменная технология разделения и очистки веществ: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 110 с.
5. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. Изд. 20е, перераб. и дополн. М.: Глобус, 2002. 352 с.
6. Голубець М. А. Актуальні питання сучасної екології. К.: АСК, 2001. 153 с.
7. Голубовская, Э.К. Биологические основы очистки воды / Э.К. Голубовская М.: Высшая школа, 1978. 135 с.
8. Гужулев Э. П., Шалай В. В., Гриценко В. И., Таран М. А. Водоподготовка и воднохимические режимы в теплоэнергетике: учебное пособие. Омск: Издво ОмГТУ, 2005. 384 с.
9. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища Навчальний посібник. К.: Знання, 2006. 319 с.
10. Дытнерский, Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация / Ю.И. Дытнерский - Москва, 1978. 130 с.

11. Евилевич А. М., Евилевич В. А. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1998. 248 с.
12. Жуков, А.И., Монгайт, И.Л., Родзиллер, И.Д. Методы очистки производственных сточных вод[Текст] / А.И.Жуков, И.Л. Монгайт, И.Д. Родзиллер. Справочное пособие. - М.:Стройиздат, 1977. 446 с.
13. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 року N 2694-XII ( ВВР 1992, N 49, ст.668 ) Із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 15 травня 1996 року N 196/96-ВР
14. Запольський А. К. Фізико-хімічні технології очищення стічних вод. К.: Вища школа, 2005. 671 с.
15. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учеб. Пособие /Д. А. Кривошеин, П. П. Кукин, В. Л. Лапин. М.: Высшая школа, 2003. 344 с.
16. Кожен, Дж. Обзор физико-химических методов очистки сточных вод / Дж КоженМ.: Химия, 1986, 69 с.
17. Кожин В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. М.: Издательство литературы по строительству, 1991. 273 с.
18. Кузнецов А. Е., Градова Н. Б. Научные основы экобиотехнологии (для данного курса представляют интерес разделы «Экосистемы природных сред и сооружений биологической очистки», «Антропогенные факторы загрязнения», «Биотрансформация соединений азота и серы»). Учеб пособ. М.: Мир, 2006. 504 с.
19. Маслов Н. Н. Охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1996. 238 с.
20. Основные процессы и аппарата химической технологии : учеб. пособие по проектированию // Под ред. Ю. М. Дытнерский. М.: Химия, 1991. 493 с.
21. Пааль Л. Л. Справочник по очистке природных и сточных вод. М.: Высш. школа, 1994. 336 с.

22. Основи охорони праці / [В.В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко та ін.]; за ред. В.В. Березуцького. – Х.: Факт, 2005. – 480 с
23. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006 – 448 с.
24. Охорона праці та промислова безпека: Навч. посіб. / К. Н. Ткачук, В. В. Зацарний, Р. В. Сабарно, С. Ф. Каштанов, Л. О. Мітюк, Л. Д. Третьякова, К. К.Ткачук, А. В. Чадюк. За ред. К. Н. Ткачука і В. В. Зацарного. – К.,2009 – 454 с.
25. Нормативные документы в области охраны труда. URL <http://www.kodeks-luks.ru> (дата звернення 16.12.2020).
26. Пашков А. П. Проблемы забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні / Безпека життєдіяльності. 2011. № 4. 167 с.
27. Правила охорони праці у хімічних лабораторіях – К.: Основа, 2013. – 22 с.
28. Пашков А. П. Проблемы забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні / Безпека життєдіяльності. 2011. № 4. 167 с.
29. Проектирование очистных сооружений водоотводящих систем. Биологическая очистка: учебно методическое пособие / Э. П. Доскина, Т. Д. Кичёва. Волгоград: ВолгГАСА, 2002. 55 с.
30. Родионов А. И., Кузнецов Ю. П., Соловьев Г. С. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов. М.: Химия, КолосС, 2005. 392 с.
31. Рублева, И.М., Ромадина Е.С. Методы очистки и анализ сточных вод / И.М. Рублева, Е.С. Ромадинаметод. указания. Яросл. гос. ун-т.; Ярославль: ЯрГУ, 2008. 67 с.
32. Русанов А. И. Мицеллообразование в растворах поверхностно активных веществ. СПб.: Химия, 1992. 280 с.
33. Рябчиков Б. Е. Современная водоподготовка. М.: ДеЛи принт, 2013. 679 с.

34. Сернокрылов, Н.С. / Экология очистки сточных вод физикохимическими методами / Н.С. Сернокрылов - М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. 188 с.
35. Сидорова, А.Ф. Модернизация биореактора, направленная на повышение качества очистки сточных вод ПАО «КуйбышевАзот». URL/[https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/700/1/Сидорова%20А.Ф.\\_ЗОС\\_б\\_1201.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/700/1/Сидорова%20А.Ф._ЗОС_б_1201.pdf) ( дата звернення 25.11.2020).
36. Системы водоотведения городов. URL/[https://studopedia.su/20\\_88156\\_sistemi-vodootvedeniya-gorodov.html](https://studopedia.su/20_88156_sistemi-vodootvedeniya-gorodov.html) ( дата звернення 18.11.2020).
37. Сологаев В. И. Водоснабжение и водоотведение: Конспект лекций. Омск: Изд-во СибАДИ, 2010. 44 с.
38. Хенце М. Очистка сточных вод: Пер. с англ. Арван Э.М.: Мир, 2006. 480 с.
39. Хижняк О. О. Проблема знезаражування природної води / Наукові вісті. 2007. № 5. С.129-135
40. Чебанов С. Н. Ларин Б. М. Водоподготовка и водно-химические режимы тепловых электростанций: учебное пособие. Иваново: ГОУВПО ИГЭУ, 2009. 428 с.
41. Чертков, М.П. Чертков м.п. применение биологических методов очистки воды при водоподготовке и очистке сточных вод / М.П.Чертков // Российский инженер. – 2017, С 65-70.
42. Шевцов, М.Н. Водоснабжение промышленных предприятий : учеб.пособ. для вузов. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2010. – 127 с.
43. Электронная энциклопедия по охране и безопасности труда МОТ. URL <http://base.safework.ru/iloenc> ( дата звернення 16.12.2020).
44. Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов: М.: АСВ, 2004. 704 с.

45. Яковлев, С.В., Карелин, Я.А., Ласков, Ю.М., Воронов Ю.В. Очистка производственных сточных вод / С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков - М.: Стройиздат, 1990, С 112-114.

46. Яковлев, С.В., Карюхина Е.А. Биологические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Е.А. Корюхина М.:Стройиздат, 1980, 200 с.